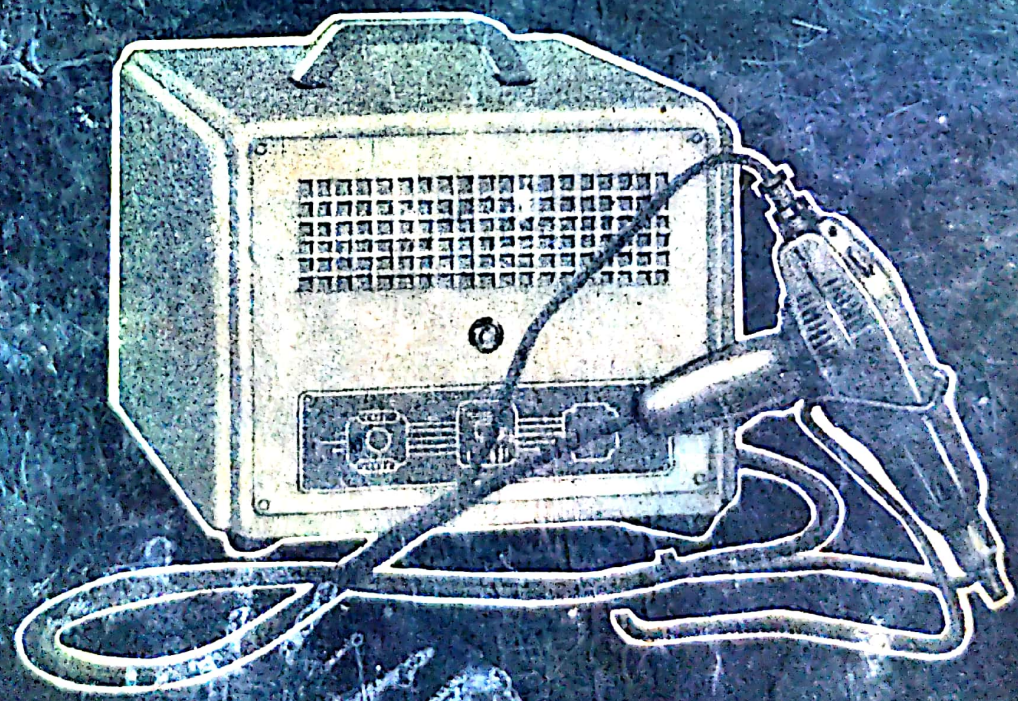
D. A. GHERȘGAL
V. M. FRIDMAN

aparate cu ULTRASUNETE



EDITURA TEHNICA

D. A. Gherșgal ★ V. M. Fridman

APARATE CU ULTRASUNETE

Traducere din limba rusă

EDITURA TEHNICĂ
București — 1962

Scanned with OKEN Scanner

Coperta de: arh. GRIGORE ANGELESCU

În carte se descriu principiile de funcţionare şi se dau datele tehnice principale ale aparatelor tehnologice, de control şi de măsurat bazate pe ultrasunete, folosite în medii lichide, gazoase şi solide, fabricate de industria sovietică.

Sînt descrise, de asemenea, aparate şi instalaţii pentru măsurarea principalilor parametri ai ultrasunetelor (amplitudine şi intensitate) la diferite frecvenţe şi se prezintă metodele de calcul al vibratoarelor cu ultrasunete şi al receptoarelor şi generatoarelor de vibraţii elastice de frecvenţe sonore şi ultrasonore.

Lucrarea se adresează inginerilor şi tehnicienilor din diverse ramuri ale industriei, care utilizează în munca lor aparate cu ultrasunete.

Pentru orice observaţii, propuneri şi sugestii, cititorii sînt rugaţi să se adreseze Editurii Tehnice, Bucureşti, Oficiul P.T.T.R. 45, str. Ştirbei Vodă nr. 37.

Д. А. Гершгал и В. М. Фридман

УЛЬТРАЗВУКОВАЯ АППАРАТУРА

Госэнергоиздат

Москва 1961 Ленинград

CUPRINSUL

Introducere Pag.

Partea întîi

Parametrii fizici fundamentali ai vibraţiilor elastice de frecvenţă sonoră şi ultrasonoră şi aparatura pentru măsurarea lor

Cap. 1. *Scurtă expunere a bazelor fizice* 9
1.1. Vibraţii elastice sonore şi ultrasonore 9
1.2. Parametrii fundamentali şi legile fizice ale vibraţiilor elastice de frecvenţă sonoră şi ultrasonoră 11
Cap. 2. *Metodele şi aparatura pentru măsurarea parametrilor acustici fundamentali* . 17
2.1. Date principale 17
2.2. Traductoare-receptoare de vibraţii acustice 17
2.3. Măsurarea frecvenţei vibraţiilor electrice 24
2.4. Măsurarea intensităţii vibraţiilor elastice 25

Partea a doua

Metode şi aparatură pentru obţinerea vibraţiilor elastice

Cap. 3. *Vibratoare* 44
3.1. Vibratoare electromagnetice 44
3.2. Vibratoare electrodinamice 61
3.3. Vibratoare magnetostrictive 67
3.4. Vibratoare din ferite 102
3.5. Vibratoare piezoelectrice 107
Cap. 4. *Generatoare electronice cu funcţionare continuă* 122
4.1. Generalităţi 122
4.2. Generatoare de frecvenţă ultrasonoră joasă 128
4.3. Generator de ultrasunete de bandă largă 141
4.4. Generatoare de ultrasunete de înaltă frecvenţă 143
4.5. Instalaţii generatoare de ultrasunete realizate pe baza unor generatoare pentru încălzire prin inducţie şi a unor amplificatoare de radioficare 147
4.6. Elementele de adaptare a generatoarelor electronice cu vibratoarele . . . 153
Cap. 5. *Generatoare de impulsuri şi generatoare rotative* 161
5.1. Generatoare de impulsuri 161
5.2. Generatoare electrice rotative 170
Cap. 6. *Traductoare aerodinamice, hidrodinamice şi cu excentric* 175
6.1. Traductoare aerodinamice 175
6.2. Traductoare hidrodinamice 192
6.3. Traductoare mecanice cu excentric 203

Scanned with OKEN Scanner

Partea a treia

P

Aparataj tehnologic cu ultrasunete

Cap. 7. *Aparataj tehnologic cu ultrasunete pentru funcţionarea în lichide* 206
7.1. Destinaţia şi principalele condiţii impuse aparatajului tehnologic cu ultrasunete pentru funcţionarea în lichide 206
7.2. Instalaţii cu ultrasunete montate în aparatajul tehnologic existent 208
7.3. Instalaţii speciale cu ultrasunete 221
Cap. 8. *Aparataj tehnologic cu ultrasunete pentru funcţionarea în medii solide şi gazoase* 247
8.1. Generalităţi 247
8.2. Aparataj pentru găurirea şi tăierea cu ultrasunete 250
8.3. Aparataj pentru sudarea cu ultrasunete 262
8.4. Ciocane de lipit cu ultrasunete şi instalaţii cu ultrasunete pentru lipirea, cositorirea şi degazarea metalelor 270
8.5. Aparataj tehnologic cu ultrasunete pentru funcţionare în gaze 276

Partea a patra

Aparate cu ultrasunete pentru supraveghere, control şi măsurare 286
Cap. 9. *Aparate cu ultrasunete pentru supraveghere, control şi măsurări în materiale solide* 290
9.1. Defectoscoape cu ultrasunete 290
9.2. Aparate cu ultrasunete pentru determinarea constantelor fizico-mecanice ale materialelor solide 311
Cap. 10. *Aparate cu ultrasunete pentru supraveghere, control şi măsurări în lichide* . . 316
10.1. Generalităţi 316
10.2. Aparate cu ultrasunete pentru controlul proceselor fizico-chimice 318
10.3. Debitmetre şi nivelmetre cu ultrasunete 337
10.4. Viscozimetre cu ultrasunete 344
Cap. 11. *Aparate cu ultrasunete pentru supraveghere, control şi măsurări în gaze* . . 349
11.1. Generalităţi 349
11.2. Analizoare de gaze şi aparate de măsurat concentraţia prafului funcţionînd cu ultrasunete 350
11.3. Aparate de măsurat distanţa cu ajutorul ultrasunetelor 355
Bibliografie 362

Scanned with OKEN Scanner

INTRODUCERE

În ultimul sfert de veac, în tehnică s-a observat dezvoltarea pe o scară largă a metodelor fizice de influenţare a desfăşurării unor reacţii sau procese. Realizările fizicii în domeniul obţinerii vibraţiilor elastice sonore şi ultrasonore au dus desul de repede la utilizarea acestor realizări pentru acţionarea asupra materiei. În ultimii ani, printr-o serie întreagă de cercetări s-a stabilit că vibraţiile sonore şi ultrasonore intense constituie un factor extrem de eficace de acţionare asupra materiei capabil de a modifica starea acesteia, de a o dispersa, coagula sau emulsiona, de a schimba viteza ei de dizolvare şi de cristalizare, de a obţine efecte chimice şi de spălare, de a accelera apreciabil procesele de eterogenizare, de difuzie etc.

Efectul de dispersare şi de coagulare este folosit în industria chimică, mecanică, textilă, a cărbunelui, alimentară, uşoară, a cimentului şi în alte ramuri ale industriei. Efectul de spălare începe să fie folosit din ce în ce mai mult în construcţia de maşini şi în gospodăria comunală. În metalurgie are mari perspective acţionarea asupra proceselor de cristalizare etc.

În plus, vibraţiile ultrasonore de mică intensitate sînt folosite mult în aparatele de control şi de măsurat.

Metodele bazate pe ultrasunete oferă posibilitatea de a efectua supravegherea, controlul şi măsurări în medii netransparente din punct de vedere optic (defectoscopia cu ultrasunete) şi în procesele fizice care se desfăşoară rapid, de a face observaţii şi de a analiza — fără contact direct — starea materiei în mediile nocive şi în conductele şi aparatele greu accesibile (analiza gazelor, măsurarea debitului şi a nivelului) etc. Domeniile de aplicaţie a ultrasunetelor în economia naţională sînt enumerate în fig. 0.1.

Aceste multiple posibilităţi de utilizare în industrie a vibraţiilor elastice de frecvenţă sonoră şi ultrasonoră şi de diferite intensităţi au dus la crearea a numeroase tipuri de instalaţii bazate pe ultrasunete, pentru operaţii în medii lichide, gazoase şi solide.

Există un mare număr de metode, dintre cele mai diferite, de obţinere a unor vibraţii elastice intense de frecvenţă sonoră şi ultrasonoră. În cartea de faţă sînt descrise metodele şi aparatele respective cele mai răspîndite şi cu perspective mai mari de utilizare.

Scanned with OKEN Scanner

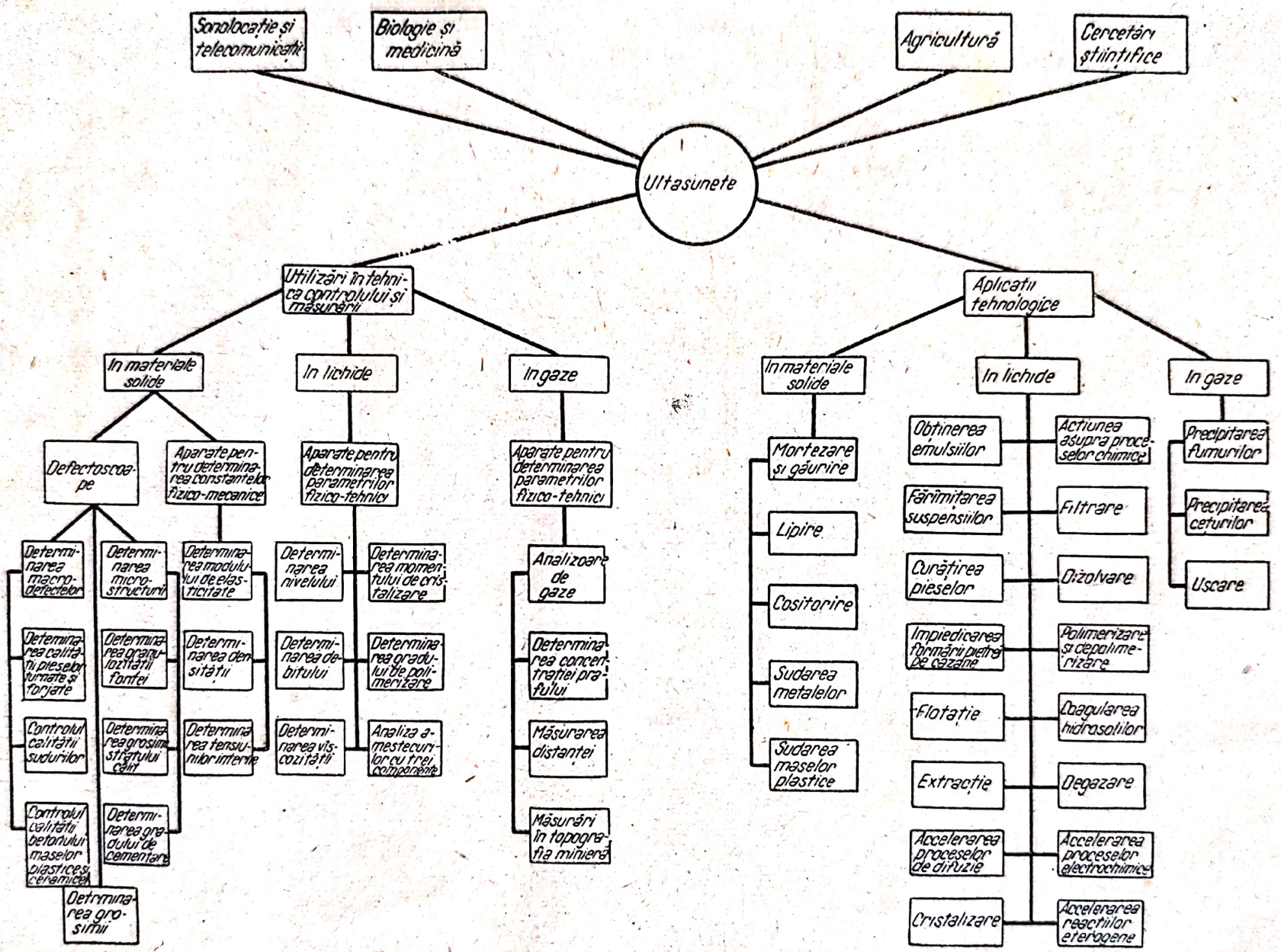


Fig. 0.1. Domeniile de utilizare a ultrasunetelor.

Vibraţiile elastice de frecvenţă sonoră şi ultrasonoră se obţin cu ajutorul unor dispozitive care în mod obişnuit sînt numite traductoare.[1]) Cele mai mari posibilităţi de utilizare practică în industrie le au următoarele tipuri de traductoare: electromecanice (electromagnetice, electrodinamice, magnetostrictive şi piezoelectrice), aerodinamice (sirenele), hidrodinamice şi mecanice (cu excentric).

Gama de frecvenţe obţinută de cele mai multe ori cu ajutorul acestor traductoare este reprezentată în fig. 0.2.

În funcţie de procesele sau reacţiile pentru care se folosesc vibraţiile elastice, se alege tipul de traductor adecvat. În acest caz trebuie să se ţină seama de frecvenţa de lucru necesară a vibraţiilor, de intensitatea acestora şi de alţi parametri acustici.

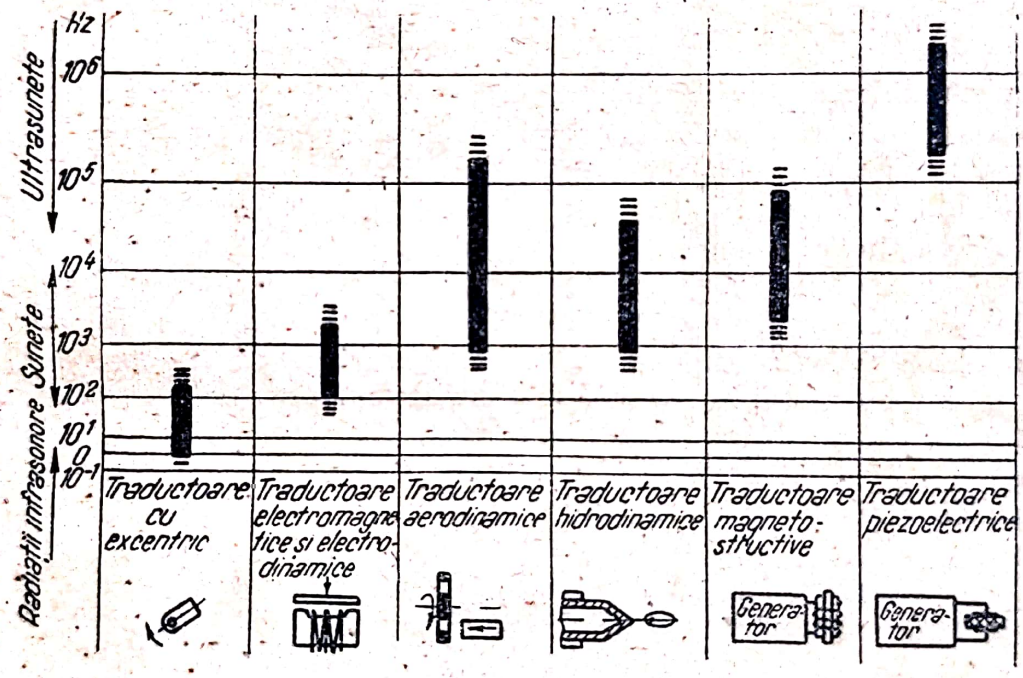


Fig. 0.2. Gama de frecvenţe a diverselor traductoare.

Dintre traductoarele amintite, cea mai mare importanţă o prezintă traductoarele electromecanice. Ele se compun din două părţi principale: un generator care produce curentul electric alternativ de frecvenţa necesară şi un vibrator care transformă energia electrică obţinută de la generator în vibraţii mecanice şi care transmite aceste vibraţii în mediul ambiant.

Industria sovietică fabrică generatoare de frecvenţă sonoră şi ultrasonoră care cuprind o gamă largă de frecvenţe şi puteri.

Vibratoarele electromecanice pot fi împărţite în patru grupe: electromagnetice, electrodinamice, magnetostrictive şi piezoelectrice. Aceste grupe se deo-

[1]) Prin traductoare se înţeleg aici dispozitivele alcătuite dintr-un element care produce vibraţii elastice (vibrator) şi un dispozitiv pentru excitarea lui.

Scanned with OKEN Scanner

sebesc între ele atît în privinţa principiului de funcţionare, cît şi a gamelor de frecvenţe în care sînt folosite.

În această carte s-a făcut încercarea de a sistematiza într-o oarecare măsură aparatele cu ultrasunete, de a arăta particularităţile lor constructive, de a expune principiile de calcul şi de a da unele recomandări cu privire la utilizarea lor.

În lucrare sînt descrise numai instalaţiile şi aparatele cu ultrasunete de fabricaţie sovietică, deoarece tocmai acestea sînt folosite în special în întreprinderile din Uniunea Sovietică.

Cartea are patru părţi.

În prima parte se prezintă parametrii fizici fundamentali ai vibraţiilor elastice de frecvenţă sonoră şi ultrasonoră, precum şi aparatele pentru măsurarea lor.

În partea a doua sînt descrise metodele şi aparatele necesare pentru obţinerea vibraţiilor sonore şi ultrasonore de intensitate medie şi mare.

În partea a treia se descriu aparatele cu ultrasunete pentru diferite procese tehnologice.

În ultima parte, a patra, sînt prezentate aparate cu ultrasunete pentru observaţii, control şi măsurări.

Cartea se adresează personalului tehnico-ingineresc al întreprinderilor industriale, institutelor de cercetări ştiinţifice şi institutelor de proiectare, care folosesc vibraţii elastice de frecvenţă sonoră şi ultrasonoră.

Autorii au presupus că cititorii care au luat cunoştinţă de tipurile de aparate tehnologice de control şi de măsurat, bazate pe ultrasunete, descrise în carte, vor şti să lucreze şi cu alte tipuri de aparate, care — datorită dezvoltării rapide a tehnicii ultrasunetelor — vor fi produse curînd în cantităţi însemnate.

Autorii consideră de datoria lor să exprime recunoştinţă prof. L. D. Rozenberg, care cu ocazia recenzării cărţii a făcut o serie de observaţii preţioase, de care autorii au ţinut seama la pregătirea finală a manuscrisului pentru tipar.

Autorii mulţumesc de asemenea inginerilor S. S. Anisimov şi B. G. Novitki pentru ajutorul practic la alegerea materialelor pentru manuscris.

Autorii vor fi recunoscători cititorilor pentru observaţiile lor critice, care — fără îndoială — vor contribui la îmbunătăţirea ulterioară a cărţii.

Scanned with OKEN Scanner

PARTEA ÎNTÎI

Parametrii fizici fundamentali ai vibraţiilor elastice de frecvenţă sonoră şi ultrasonoră şi aparatura pentru măsurarea lor

CAPITOLUL 1

SCURTĂ EXPUNERE A BAZELOR FIZICE

1.1. VIBRAŢII ELASTICE SONORE ŞI ULTRASONORE

Natura fizică a tuturor sunetelor este aceeaşi; nu există, de exemplu, o diferenţă fizică esenţială între ultrasunete şi sunete. Astfel, între sunete şi ultrasunete există numai o diferenţă fiziologică, care apare ca rezultat al capacităţii urechii omeneşti de a percepe numai vibraţiile elastice dintr-o anumită gamă de frecvenţe. În fizică, prin denumirea de vibraţii sonore se subînţeleg în mod obişnuit vibraţii elastice care se propagă sub formă ondulatorie în gaze, lichide şi solide, cu frecvenţe cuprinse în gama sonoră. Majoritatea legilor fizice caracteristice vibraţiilor sonore pot fi extinse şi la vibraţiile ultrasonore. Nu se poate însă stabili o identitate completă între aceste tipuri de vibraţii, deoarece pe măsură ce frecvenţa creşte se modifică o serie întreagă de proprietăţi ale vibraţiilor elastice şi, în mod corespunzător, se schimbă şi modul lor de acţionare asupra materiei.

În expunerea care urmează nu se va face o delimitare netă între vibraţiile sonore şi cele ultrasonore, ci numai în unele cazuri concrete se vor menţiona anumite particularităţi legate de frecvenţa acestor vibraţii.

Intensitatea vibraţiilor ultrasonore din natură nu este mare. Ea este de acelaşi ordin de mărime ca şi intensitatea vorbirii omeneşti şi a sunetelor audibile; după cum se ştie, sunetului unei convorbiri cu glas tare îi corespunde o intensitate egală cu aproximativ $1 \cdot 10^{-9}$ W/cm^2. Altfel stau lucrurile atunci cînd vibraţiile sonore şi cele ultrasonore sînt produse de surse artificiale. În acest caz, puterea lor poate atinge zeci şi sute de waţi sau chiar cîţiva kilowaţi, iar intensitatea poate avea valori de zeci şi sute de waţi pe centimetru pătrat. Vibraţiile de intensitate mare se caracterizează prin mai multe particularităţi care le deosebesc de vibraţiile de intensitate mică. Acestea sînt aşa-numitele efecte de ordinul doi. După cum arată L. D. Rosenberg, unele dintre aceste efecte există şi la sunetele slabe; ce e drept, ele sînt atît de neînsemnate, încît este foarte dificil să fie observate. În ce priveşte celelalte efecte, se poate presupune mai curînd că la sunetele slabe ele nu există de loc şi apar numai atunci cînd intensitatea sunetelor depăşeşte pragul necesar pentru producerea fenomenului respectiv. Nu toate efectele de ordinul doi au căpătat pînă în

Scanned with OKEN Scanner

prezent o explicaţie fizică precisă. Totuşi, datorită faptului că ele sînt inerente vibraţiilor sonore de intensitate mare şi mijlocie, ne vom ocupa de cîteva dintre ele, care prezintă interes pentru aplicaţiile industriale.

Propagarea undelor sonore într-un mediu (fig. 1.1), se face printr-o succesiune de comprimări şi destinderi, amplitudinea unei comprimări fiind întotdeauna egală cu amplitudinea unei destinderi. Această succesiune corespunde frecvenţei vibraţiilor undei sonore. Presiunea suplimentară care apare în urma acestui fenomen poartă numele de *presiune sonoră.*

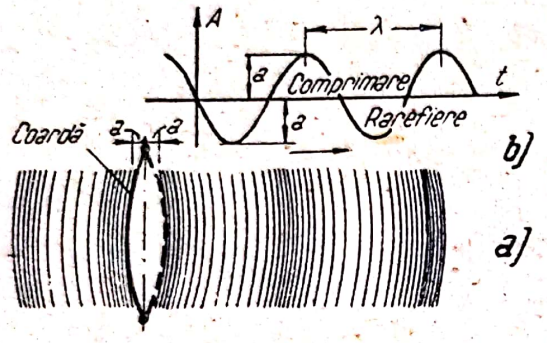


Fig. 1.1. Propagarea undelor sonore într-un mediu:

a — formarea vibraţiilor sonore sub acţiunea unei corzi care vibrează; *b* — reprezentarea convenţională a undelor sonore sub forma unei sinusoide; λ — lungimea de undă; *a* — amplitudinea vibraţiilor.

Experienţa arată că un vibrator puternic nu numai că pune în stare de vibraţie particulele mediului care se învecinează cu el, în raport cu poziţia lor de repaus, dar provoacă şi o deplasare permanentă a acestora, un flux sonor continuu („vînt acustic"). Acest fenomen prezintă un deosebit interes, deoarece el se manifestă sub forma unor curenţi puternici care duc la agitarea intensă a mediului şi aceasta accelerează într-o mare măsură seria de procese care se produc.

Cînd printr-un lichid se propagă vibraţii ultrasonore intense se observă un efect strîns legat de presiunea sonoră, denumit *cavitaţie ultrasonoră.* Fenomenul de cavitaţie este legat mai ales de faptul că lichidele, deşi transmit uşor comprimări foarte mari pe diverse direcţii, sînt extrem de sensibile la eforturile de destindere. La propagarea unei unde, cu faza corespunzătoare unei destinderi, lichidul „se rupe" şi în el se formează un număr foarte mare de bule minuscule, care apar de obicei în locurile unde rezistenţa lichidului a fost mai mică; aceste locuri sînt cele în care există bule mici de gaz, particulele unor impurităţi etc. Aceste cavităţi minuscule, aşa-numitele bule de cavitaţie, sînt absorbite după o existenţă de scurtă durată. În timpul absorbirii lor, se dezvoltă presiuni instantanee locale mari, care ating sute de atmosfere. Presiunile de acest fel duc la deteriorări mecanice ale suprafeţei unui corp solid din apropierea locurilor de dispariţie a bulelor de cavitaţie. Acest fapt este folosit în numeroase cazuri pentru scopuri industriale. La dispariţia bulelor de cavitaţie se observă de asemenea creşteri locale ale temperaturii şi descărcări electrice. Intensitatea ultrasunetelor, necesară pentru cavitaţie, depinde de frecvenţa vibraţiilor şi de natura lichidului. Cavitaţia se produce mai greu dacă presiunea exterioară creşte şi se intensifică o dată cu ridicarea temperaturii.

Acţiunea vibraţiilor elastice de frecvenţă sonoră şi ultrasonoră asupra substanţei şi asupra desfăşurării diverselor reacţii şi procese este pusă de majoritatea cercetătorilor în legătură cu fenomenele de cavitaţie, presiune sonoră şi flux sonor.

Scanned with OKEN Scanner

1.2. PARAMETRII FUNDAMENTALI ŞI LEGILE FIZICE ALE VIBRAŢIILOR ELASTICE DE FRECVENŢĂ SONORĂ ŞI ULTRASONORĂ

Aplicaţiile practice ale vibraţiilor elastice de frecvenţă sonoră şi ultrasonoră sînt legate de proprietăţile fizice ale mediului prin care ele se propagă, precum şi de acele fenomene care iau naştere în timpul propagării acestor vibraţii.

Din această cauză, la început este necesar să amintim pe scurt principalii parametri fizici şi legile fundamentale proprii vibraţiilor elastice de frecvenţă sonoră şi ultrasonoră, la propagarea acestora din urmă prin diverse medii.

Viteza de propagare a sunetelor este legată de lungimea de undă şi frecvenţa vibraţiilor prin relaţia $C = \lambda f$. Deoarece frecvenţa vibraţiilor reprezintă mărimea inversă perioadei, adică timpului necesar undei pentru parcurgerea unei distanţe egale cu lungimea de undă, rezultă că $C = \lambda / T$. Prin urmare, $\lambda = CT$.

Viteza de propagare a vibraţiilor elastice este diferită pentru diversele medii şi se determină cu următoarele expresii.

Viteza sunetului în materialele solide este

$$C = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \text{ [cm/s]},$$

unde E este modulul lui Young dyn/cm^2; ρ — densitatea g/cm^3.

Viteza sunetului în lichide este

$$C = \sqrt{\frac{1}{\rho\beta}} \text{ [cm/s]},$$

unde: β este compresibilitatea la temperatură constantă, cm^2/dyn;
ρ — densitatea, g/cm^3.

Viteza sunetului în gaze este

$$C = \sqrt{\frac{\varkappa p}{\rho}} \text{ [cm/s]},$$

în care $\varkappa$ este raportul căldurilor specifice la presiune constantă, respectiv volum constant; ($\varkappa = C_p / C_v$);
p — presiunea dyn/cm^2;
ρ — densitatea, g/cm^3.

Undele la care direcţia de deplasare a particulelor coincide cu direcţia de propagare a undei se numesc *longitudinale*.

În corpurile solide, în afară de undele longitudinale, se pot propaga unde sonore care provoacă deplasarea particulelor pe o direcţie perpendiculară pe direcţia de propagare a undei. Undele de acest fel sînt numite *transversale*

sau unde de forfecare. Viteza de propagare a undelor transversale în corpurile solide este $C_{tr} = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$, unde μ este modulul de forfecare a materialului; ρ — densitatea.

Viteza undelor transversale este mai mică decît aceea a undelor longitudinale:

$$\frac{C_l}{C_{tr}} \approx \sqrt{3}.$$

Undele se pot propaga pe suprafaţa materialului, fără a pătrunde în adîncimea lui. Viteza undelor superficiale reprezintă aproximativ 0,9 din viteza undelor transversale.

În tabela 1.1 sînt date vitezele de propagare şi lungimile de undă ale undelor longitudinale, pentru diverse materiale şi diverse frecvenţe.

TABELA 1.1

Substanţa	Densitatea g/cm³	Viteza (10^5 cm/s)	Lungimea de undă pentru diferite frecvenţe, cm		
			0,5 MHz	1 MHz	5 MHz
Aer	0,0012	0,331	0,174	0,087	0,017
Aluminiu	2,65	6,22	3,347	1,573	0,313
Cupru	8,93	4,62	2,317	1,158	0,208
Plumb	11,4	2,13	1,077	0,503	0,107
Mercur	13,6	1,46	0,708	0,354	0,072
Oţel	7,8	5,81	2,938	1,469	0,313
Sticlă	5,9	5,9	2,631	1,315	0,263
Cuarţ	2,65	5,75	2,888	1,444	0,288
Polistirol	1,1	2,67	1,351	0,675	0,135
Ulei de transformator	0,92	1,39	0,703	0,351	0,070
Apă	1,00	1,43	0,732	0,366	0,073

După cum se ştie, o undă care se propagă poartă cu sine o anumită energie pe direcţia ei de deplasare. Particulele lichidului prin care se propagă ultrasunetele sînt puse într-o mişcare de vibraţie; în acest caz, apar forţe elastice care variază în timp în decursul fiecărei perioade a vibraţiilor. Viteza particulelor care se deplasează determină energia cinetică a fluxului de lichid, pe cînd forţele de interacţiune ale particulelor determină energia potenţială. În acustică suma acestor două energii este numită energie sonoră sau acustică. Energia sonoră, care se propagă de la sursa de sunete, se atenuează pe măsura propagării în mediu. *Intensitatea* sunetului este caracterizată drept cantitatea de energie transportată de unda sonoră în unitatea de timp pe direcţia de propagare a sunetului, printr-o suprafaţă de 1 cm², perpendiculară pe această direcţie. În concordanţă cu această definiţie, intensitatea I a sunetului este egală cu valoarea medie în timp a fluxului de energie, care trece prin unitatea de suprafaţă

$$I = \frac{1}{T} \int_0^T p\, U\, dt$$

în care: p este valoarea instantanee a presiunii suplimentare sonore;
U — valoarea instantanee a componentei vectorului vitezei de vibraţie, care este perpendiculară pe unitatea de suprafaţă.

Pentru o undă plană, intensitatea sunetului poate fi determinată cu formula

$$I = \frac{\bar{p^2}}{2\rho C}.$$

Intensitatea sunetului se exprimă în waţi pe metru pătrat (GOST 8849—58). O serie întreagă de aparate sînt însă etalonate încă în unităţile vechi (w/cm^2).

Presiunea p măsurată într-un punct determinat al mediului care înconjoară vibratorul variază în timp. În timpul mişcării oscilatorii a vibratorului, presiunea p din punctul considerat creşte la început, devenind mai mare decît presiunea hidrostatică p_0, după aceea scade pînă la o valoare mai mică decît presiunea hidrostatică şi, apoi, creşte din nou pînă la valoarea p_0.

Diferenţa dintre valoarea instantanee a presiunilor în punctul considerat p şi valoarea instantanee a presiunii hidrostatice p_0 constituie presiunea suplimentară p_1:

$$p_1 = p - p_0.$$

Presiunea sonoră p_1 variază periodic în decursul unui ciclu al vibraţiilor; de aceea, ea trebuie exprimată ca o valoare medie oarecare. În mod obişnuit se ia valoarea medie pătratică a presiunii sau, cum mai este numită, valoarea eficace a acestei presiuni alternative. În cazul unui proces vibratoriu armonic, valoarea eficace (p_{ef}) se determină împărţind cu $\sqrt{2}$ valoarea p_{1m} a amplitudinii presiunii sonore şi deci:

$$p_{ef} = \frac{p_{1m}}{\sqrt{2}}.$$

Unitatea de măsură a presiunii sonore este newtonul pe metrul pătrat (GOST 8849—58). În GOST-ul menţionat se prevede posibilitatea de utilizare, ca unitate de măsură, a dinei pe centimetru pătrat (sistemul de unităţi acustice CTC). În prezent, însă, această unitate este numită bar.

Pentru măsurarea nivelului presiunii sonore se admite folosirea unei unităţi care nu face parte din vreun sistem, unitate denumită decibel. Decibelul este nivelul unei presiuni sonore pentru care logaritmul zecimal, înmulţit cu 20, al raportului dintre această presiune şi presiunea de prag convenţională, adoptată drept nivel de zero, egală cu 0,00002 N/m^2, este egal cu unitatea.

Undele ultrasonore care trec printr-un mediu sînt supuse unei absorbţii condiţionate de viscozitate (forţele de frecare internă), conductibilitatea ter-

mică şi absorbţia moleculară a mediului. În cazul unei absorbţii care depinde de frecvenţa sunetelor, energia undelor sonore se transformă în energie termică.

În afară de absorbţia condiţionată de viscozitate şi de conductibilitatea termică, are loc o dispersare a energiei sonore, cauzată de neomogenitatea mediului.

Trebuie să se menţioneaze că absorbţia şi dispersia sunetelor se intensifică apreciabil atunci cînd mărimea particulelor mediului devine comparabilă cu lungimea de undă a sunetelor.

Absorbţia vibraţiilor elastice în diferite materiale este dată de expresia

$$A_x = A_0 e^{-\alpha x}$$

în care: A_x este amplitudinea vibraţiilor elastice la distanţa x de sursă; distanţa x este dată în centimetri;

A_0 — amplitudinea vibraţiilor elastice în punctul $x=0$;

α — coeficientul de absorbţie.

Pentru lichide şi gaze, valoarea lui α se determină cu formula

$$\alpha = \alpha' f^2$$

iar pentru corpurile solide, cu formula

$$\alpha = \alpha' f$$

în care valoarea lui α' este găsită din tabele, iar

f — frecvenţa oscilaţiilor în Hz.

În tabela 1.2 sînt date valorile calculate ale lui α' pentru o serie de materiale.

TABELA 1.2

Lichide	$\alpha' \cdot 10^{-17}$ s^2/cm	Gaze	$\alpha' \cdot 10^{-13}$ s^2/cm	Corpuri solide	$\alpha' \cdot 10^{-9}$ s^2/cm
Apă	8,5	Aer	1,24	Aluminiu	0,61
Benzol	8,66	Oxigen	1,49	Oţel cu wolfram şi carbon	0,38
Glicerină	590	Azot	1,3	Oţel cu molibden	1,42
Alcool etilic	22	Bioxid de carbon	1,3	Sticlă de geamuri	6,35
Mercur	5,05	Propan	0,83	Magneziu	1,08

Cînd sunetele se propagă printr-un mediu, ele suferă reflexii, refracţii, difracţii, interferenţe şi alte fenomene caracteristice pentru mişcarea ondulatorie.

În cazul cînd o undă sonoră plană ajunge la un plan cu suprafaţa ideal netedă (care posedă dimensiuni considerabile în comparaţie cu lungimea de

undă), legile principale ale reflexiei şi refracţiei sunetelor sînt similare cu legile fundamentale din optica geometrică.

În fig. 1.2 sînt ilustrate diverse cazuri de reflexie şi refracţie a undelor sonore atunci cînd ele ajung la o suprafaţă de separaţie şi la trecerea dintr-un mediu în altul.

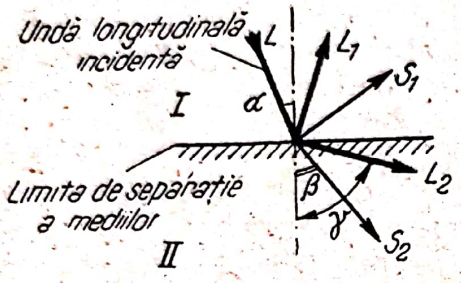


Fig. 1.2. Transformările suferite de undele sonore la limita de separaţie a două medii:
L — undă longitudinală incidentă; *L*₁, *L*₂ — undele longitudinale reflectată şi refractată; *S*₁, *S*₂ — undele transversale reflectată şi refractată.

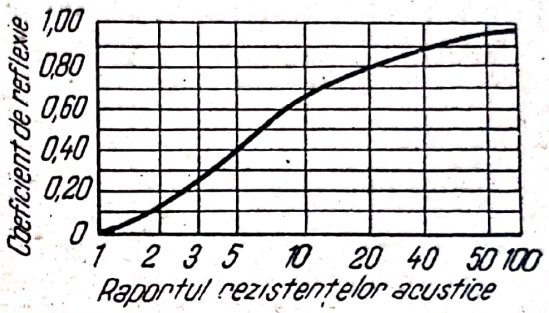


Fig. 1.3. Coeficientul de reflexie a energiei sonore la limita de separaţie a două medii, în funcţie de rezistenţele acustice ale acestora.

Coeficientul de reflexie al undelor sonore, la limita de separaţie a două medii şi în cazul unei incidenţe normale a undei, se determină cu formula

$$k_a = \frac{\rho_1 C_1 - \rho_2 C_2}{\rho_1 C_1 + \rho_2 C_2}$$

în care: ρ_1 şi ρ_2 sînt densităţile mediilor;

C_1 şi C_2 — viteza de propagare a sunetelor în aceste medii.

Ca exemplu putem arăta că atunci cînd undele sonore ajung la limita de separaţie dintre aer şi un corp solid, se reflectă practic 100% din energie; cînd unda se propagă prin apă şi ajunge la o placă de oţel, în acelaşi condiţii se va reflecta 70% din energie şi numai 30% va pătrunde în oţel.

Intensitatea undei reflectate, în cazul incidenţei la limita de separaţie a două medii, este dată de formula

$$I = I_0 \left(\frac{\rho_1 C_1 - \rho_2 C_2}{\rho_1 C_1 + \rho_2 C_2} \right)^2$$

în care: I este intensitatea undei reflectate;
I_0 — intensitatea undei incidente;
ρC — rezistenţa acustică a mediilor.

În fig. 1.3 este reprezentată curba care exprimă variaţia coeficientului de reflexie a energiei sonore la limita de separaţie a două medii, în funcţie de raportul dintre rezistenţele acustice ale acestor medii.

În timpul trecerii undei sonore prin mediu au loc fenomene de difracţie şi de interferenţă.

Scanned with OKEN Scanner

Difracţia undelor sonore este abaterea de la direcţia lor de propagare provocată de obstacolele întîlnite în drum (sau ocolirea acestor obstacole). Ocolirea obstacolelor de către undele sonore are o foarte mare importanţă pentru propagarea sunetelor. Dacă lungimea de undă a sunetelor se micşorează şi devine comparabilă cu dimensiunile obstacolelor, difracţia devine mai puţin perceptibilă. Dacă dimensiunile obstacolelor sînt mai mari decît lungimea undei sonoare, dincolo de obstacol va apărea o regiune de umbră sonoră. În acest caz, se poate admite că sunetul se propagă conform unor legi asemănătoare cu cele din optica geometrică.

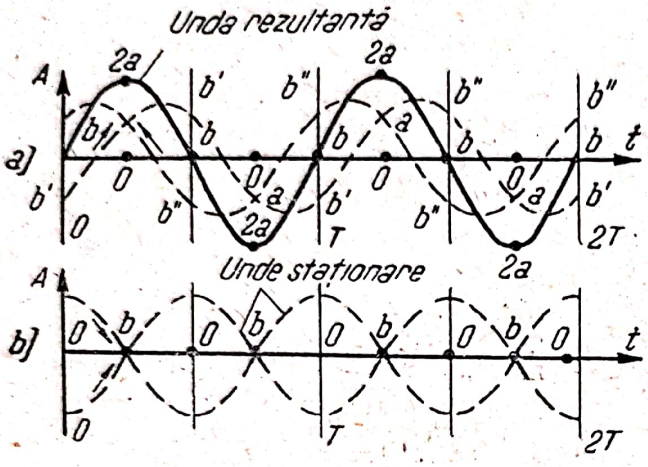


Fig. 1.4. Compunerea undelor:
a — compunerea a două unde independente;
b — formarea undelor staţionare.

Interferenţa este fenomenul de suprapunere a mai multor vibraţii care se propagă într-un mediu concomitent şi independent una de alta.

În fig. 1.4 este ilustrat fenomenul de compunere a două unde independente, care are drept rezultat o mărire a amplitudinii (fig. 1.4, *a)* sau o micşorare a ei. Un caz particular de interferenţă este formarea undelor staţionare (fig. 1.4, b).

Formarea undelor staţionare este posibilă numai într-un spaţiu limitat de o suprafaţă reflectantă şi în cazul cînd în acest spaţiu încap un număr întreg de semiperioade, adică $\lambda/2$; λ; $3\lambda/2$; $n\lambda/2$, unde n este un număr întreg.

La trecerea unei unde sonore dintr-un mediu în altul (dacă unda este incidentă pe suprafaţă sub un-unghi oarecare), are loc refracţia undei.

Valoarea unghiului de refracţie rezultă din următoarea expresie

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{C_1}{C_2},$$

în care: θ_1 este unghiul de incidenţă;
θ_2 — unghiul de refracţie;
C_1 — viteza sunetului în primul mediu;
C_2 — viteza sunetului în cel de-al doilea mediu.

Dacă $C_2 > C_1$, unghiul de refracţie θ este mai mare decît unghiul de incidenţă. Este posibil să existe un unghi de incidenţă pentru care unghiul de refracţie devine egal cu 90° şi $\sin \theta_2 = 1$. Acest unghi de incidenţă este numit unghiul critic; dacă unghiul de incidenţă este mai mare decît cel critic, va avea loc o *reflexie internă totală.*

Aşadar, coeficienţii de reflexie şi refracţie depind de rezistenţa acustică sau cea caracteristică a mediilor, adică de viteza sunetelor în mediile respective şi de densitatea acestora, precum şi de unghiul de incidenţă al undei

la limita de separație. Reflexia și refracția undelor sonore, în cazul trecerii dintr-un mediu în altul, permit să se efectueze focalizarea sunetelor cu ajutorul unor lentile și oglinzi acustice.

Legile descrise constituie baza fizică a construirii diverselor instalații și aparate bazate pe ultrasunete.

CAPITOLUL 2

METODELE ȘI APARATURA PENTRU MĂSURAREA PARAMETRILOR ACUSTICI FUNDAMENTALI

2.1. DATE PRINCIPALE

La construirea, reglarea și exploatarea aparaturii cu ultrasunete, precum și atunci cînd vibrațiile elastice sînt folosite pentru diferite procese tehnologice, este necesar să se măsoare și să se controleze frecvența și intensitatea vibrațiilor elastice.

Pentru măsurarea frecvenței oscilațiilor se folosesc undametre și frecvențmetre, iar pentru măsurarea intensității se utilizează aparate de măsurat intensitatea sau aparate de măsurat presiunea sonoră.

În majoritatea cazurilor, măsurarea parametrilor acustici se face direct în mediul supus prelucrării. De aceea, vibrațiile acustice care iau naștere în acest mediu trebuie transformate în semnale electrice adecvate și aplicate unui aparataj de măsurare electronic corespunzător.

Principalele elemente ale majorității aparatelor destinate măsurării parametrilor acustici sînt traductoarele-receptoare de vibrații acustice. Traductoarele-receptoare transformă vibrațiile acustice ale mediului în semnale electrice.

2.2 TRADUCTOARE-RECEPTOARE DE VIBRAȚII ACUSTICE

Ca traductoare-receptoare de vibrații elastice ale unui mediu sînt utilizate de preferință cele de tip electromecanic: electrodinamice și piezoelectrice. De regulă, pentru efectuarea măsurărilor în gama de frecvențe cuprinsă între 0 și 15 kHz se folosesc traductoare electrodinamice, iar în gama 15—1 000 kHz, traductoare piezoelectrice. Pentru măsurarea parametrilor acustici ai unui mediu la temperaturi pînă la 100°C se utilizează mai ales traductoare-receptoare confecționate din titanat de bariu.

În majoritatea cazurilor aceste traductoare-receptoare funcționează în regim de lucru fără cavitație, cu excepția celor de tip ЦПЦ-В, care sînt folosite cu succes și pentru măsurarea în condiții de cavitație.

Traductoarele-receptoare piezoelectrice se montează de obicei în dispozitive numite sonde acustice.[1])

[1]) În general, prin „sondă acustică" se înțelege un aparat complex, cu ajutorul căruia se măsoară adîncimea apelor. Aici, termenul „sondă acustică" este utilizat numai pentru traductorul-receptor cu element piezoelectric, fixat într-o montură adecvată.

Scanned with OKEN Scanner

a) Traductoare-receptoare electrodinamice

Traductorul-receptor electrodinamic de tip СДМ (fig. 2.1) este construit în felul următor. În întrefierul inelar al unui circuit magnetic se găseşte o bobină cu două straturi, care — împreună cu o diafragmă — constituie sistemul mobil al traductorului. Bornele bobinei se conectează la bobinajul primar al unui transformator toroidal, montat în carcasa traductorului.

Bobinajul secundar al acestui transformator este prevăzut cu prize pentru conectarea unor sarcini avînd rezistenţa de 200 şi 600 Ω. Diafragma este confecţionată din foiţă de aluminiu cu grosimea de 0,025 mm, care la margine este ondulată.

Traductorul-receptor funcţionează în modul următor. Vibraţiile elastice ale mediului provoacă deplasarea diafragmei împreună cu bobina. Ca rezultat al tăierii, de către spirele bobinei, a liniilor de forţă ale cîmpului magnetic al magnetului permanent, în bobină se induce o forţă electromotoare a cărei valoare depinde de parametrii vibraţiilor elastice ale mediului în care este amplasat traductorul.

Traductorul-receptor СДМ are următoarele caracteristici principale:

— rezistenţă de sarcină 200 şi 600 Ω;

— nivelul de transmisiune pe frecvenţa de 1 000 Hz nu este mai mic de 70 dB (ceea ce corespunde unei sensibilităţi de mers în gol de circa 0,25 mV/bar, pentru o rezistenţă de ieşire de 200 Ω a traductorului);

— neuniformitatea caracteristicii de frecvenţă în gama 50—8 000 Hz nu depăşeşte ± 6 dB (în raport cu nivelul de transmisiune pe frecvenţa de 1 000 Hz, iar în gama 50—10 000 Hz nu depăşeşte limitele +6 şi —12 dB.

Caracteristica de frecvenţă a traductorului-receptor СДМ pentru o rezistenţă de ieşire de 600 Ω, este reprezentată în fig. 2.2, iar caracteristica de directivitate este arătată în fig. 2.3.

b) Traductoare-receptoare piezoelectrice

Traductorul-receptor piezoelectric ППШ–*1 cu vibrator piezoelectric lamelar* (fig. 2.4) se compune dintr-o plăcuţă de titanat de bariu *1* avînd diametrul de 5 mm şi grosimea de 1 mm, care este fixată strîns pe diafragma carcasei cilindrice *2*, confecţionată în mod obişnuit din alamă. Vibraţiile elastice ale mediului se transmit plăcuţei de titanat de bariu prin diafragmă şi ca urmare pe suprafaţa plăcuţei apare o tensiune electrică. Cu ajutorul electrozilor de sîrmă *3* şi *4*, această tensiune este aplicată — prin cablul coaxial *8* — la blocul de amplificare şi de înregistrare al aparatului. Electrozii sînt lipiţi respectiv la carcasa metalică a sondei 2 şi la conductorul interior 5 al cablului coaxial. Carcasa metalică a sondei este legată electric cu blindajul *6* al cablului coaxial.

Pentru a se elimina posibilitatea pătrunderii umezelii la plăcuţa de titanat de bariu şi a scurtcircuitării electrozilor ei, pe carcasa metalică a sondei şi pe capătul cablului coaxial (50—60 mm) se aşază strîns tubul de policlorură de vinil 7.

Scanned with OKEN Scanner

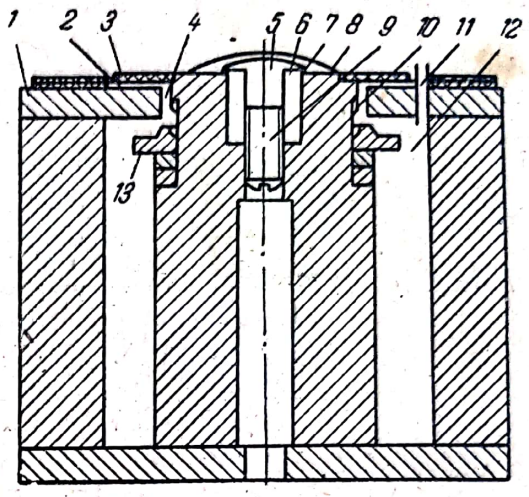


Fig. 2.1. Traductorul receptor electrodinamic СДМ:

1 — flanșă superioară; *2* — fantă inelară; *3* — membrană; *4* — fantă inelară; *5* — ciupercă crestată; *6* — segment metalic; *7* — diafragmă; *8* — diafragmă; *9* — picior; *10* — bobină cu două straturi; *11* — tub; *12* — volumul de aer; *13* — inel.

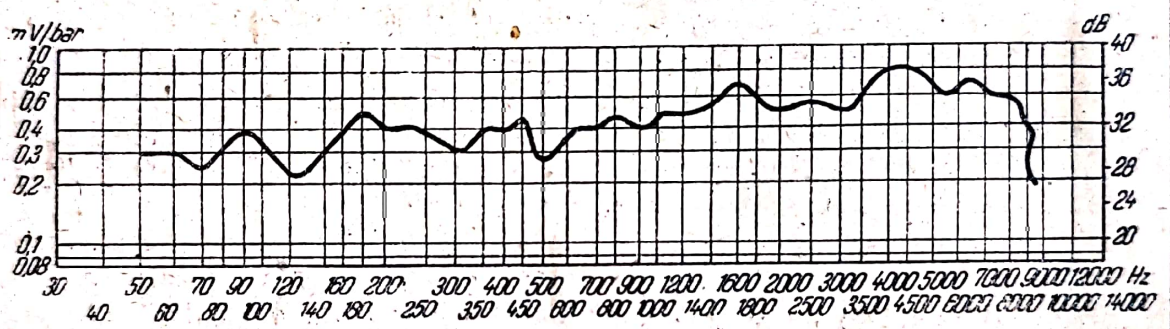


Fig. 2.2. Caracteristica de frecvență a traductorului-receptor СДМ.

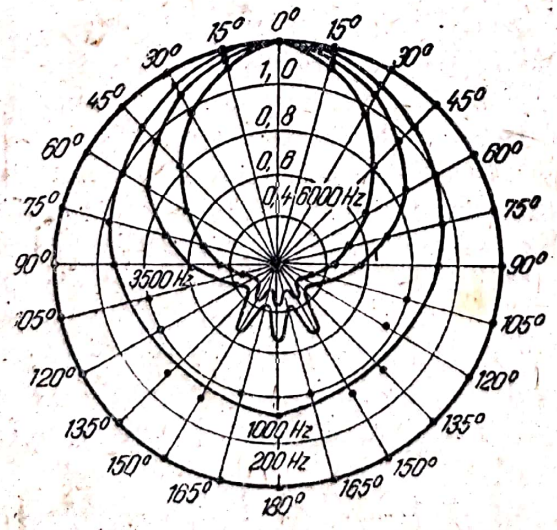


Fig. 2.3. Caracteristica de directivitate a traductorului-receptor СДМ.

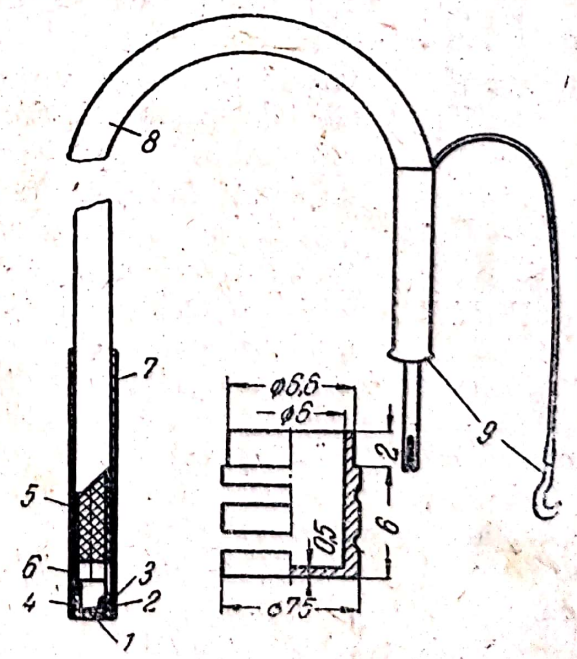


Fig. 2.4. Sonda piezoelectrică ППШ-1.

Sonda are o sensibilitate suficientă pentru practică (0,12—0,6 μV/bar), sensibilitate care nu depinde de frecvenţă în gama 5—40 kHz. Dimensiunile părţii de recepţie a sondei sînt mici în comparaţie cu lungimea de undă în lichid (pentru apă, la frecvenţe de 20 kHz, ele sînt de 10 ori mai mici). Unghiul de directivitate al sondei este de circa 120°.

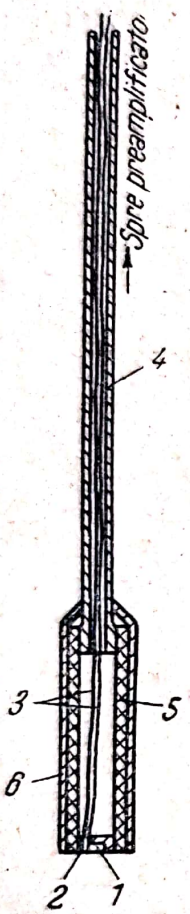


Fig. 2.5. Traductorul-receptor piezoelectric ППШ-Л

Traductorul-receptor piezoelectric ППШ-Л *cu vibrator piezoelectric lamelar* (fig. 2.5) are următoarea construcţie. Discul *1* de titanat de bariu avînd diametrul de 2 mm şi grosimea de 1 mm este lipit (cu aliaj wood) de fundul păhărelului 2 confecţionat din foiţă metalică cu grosimea de 0,1 mm. La electrozii vibratorului piezoelectric sînt lipite conductoarele de sîrmă 3, pe care sînt introduse tuburi subţiri de policlorură de vinil. Conductoarele trec prin tubul metalic *4* cu diametrul de 3—4 mm. Pe căpăcelul din foiţă metalică şi pe capătul acestui tub metalic este aşezat tubul de cauciuc *5* cu diametrul de 6—8 mm, pe care este călată strîns teaca metalică *6*. Partea superioară a tecii este lipită de tubul metalic *4*. Sensibilitatea traductorului este de 0,4—0,7 mV/bar. Caracteristica de frecvenţă a traductorului este cuprinsă între 15 şi 500 kHz, cu o neuniformitate de ±3 dB.

Traductorul-receptor piezoelectric ППШ-Ц *cu vibrator piezoelectric cilindric* (fig. 2.6) este alcătuit din cilindrul de titanat de bariu *1*, cu diametrul exterior de 8 mm lungimea de 6 mm şi grosimea peretului de 1 mm. Pe partea interioară a cilindrului este lipit, folosind glazură de plumb, discul de titanat de bariu 2 avînd diametrul de 6 mm şi grosimea de 1—2 mm. Pe suprafaţa exterioară şi cea interioară ale vibratorului piezoelectric sînt depuse, prin metoda arderii, armăturile de argint *3*. Pentru eliminarea acţiunii apei asupra vibratorului piezoelectric, pe deasupra armăturii exterioare de argint (cu excepţia unei margini superioare de 1—2 mm) se depune glazura de plumb 5 care fiind supusă la o temperatură înaltă (700°C) — se topeşte şi îmbracă solid vibratorul într-o pojghiţă sticloasă. La partea superioară a cilindrului, pe armătura exterioară a vibratorului piezoelectric, este lipit căpăcelul de alamă *6*. Pe suprafaţa interioară a căpăcelului este lipit blindajul cablului coaxial *10*, introdus printr-o deschizătură a capacului. Conductorul interior *7* al cablului a fost lipit la conductorul de sîrmă 8, legat la armătura interioară a vibratorului piezoelectric. Pentru ermetizarea locului de îmbinare a cablului cu vibratorul piezoelectric, cablul şi o ieşitură a capacului de alamă se îmbracă în tubul de cauciuc 9 avînd diametrul de 2,5—3 mm şi lungimea de 20—25 mm.

Traductorul-receptor ППШ-Ц are o caracteristică de directivitate în formă de cerc în planul orizontal. Sensibilitatea sondei este de 1,5—2,0 mV/bar, în banda de frecvenţe cuprinsă între 0 şi 50 kHz. Diametrul vibratorului piezoelectric este de 6—8 mm. Dimensiunile părţii de recepţie a sondei sînt mici în

comparație cu lungimea de undă în lichid (pentru apă, la frecvența de 10 kHz, ele sînt aproximativ de 20 ori mai mici).

În afară de traductorul descris, există multe altele cu vibrator piezoelectric cilindric, de pildă cele realizate de Institutul de Acustică al Academiei de Științe a U.R.S.S. Unele caracteristici tehnice ale acestor aparate (dimensiuni, capacitate, sensibilitate) sînt date în tabela 2.1. Un exemplu de caracteristică

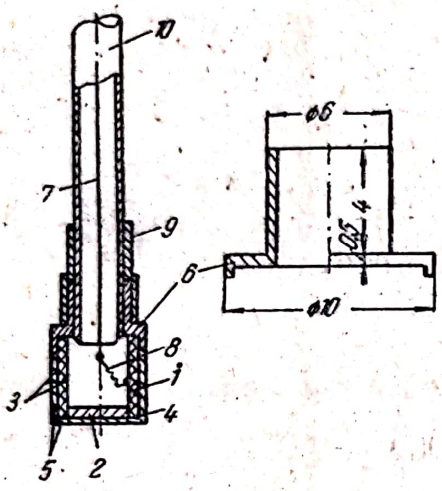


Fig. 2.6. Traductorul-receptor piezoelectric ППШ-II

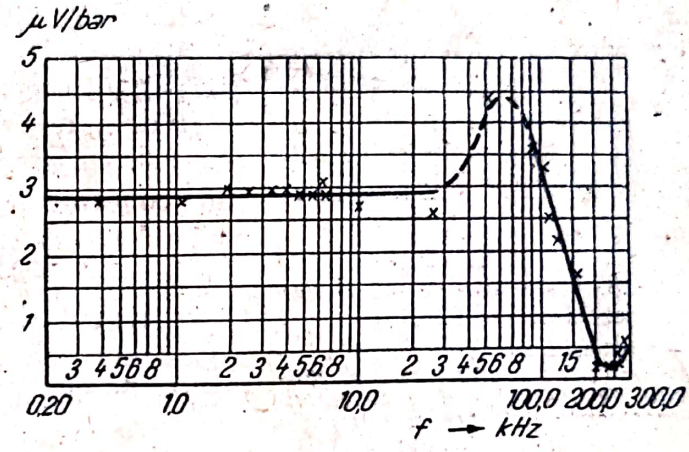


Fig. 2.7. Caracteristica de frecvență a unui traductor-receptor piezoelectric de formă cilindrică.

TABELA 2.1

Diametrul cilindrului mm	Înălțimea cilindrului mm	Grosimea peretelui mm	Capacitatea pF	Sensibilitatea medie măsurată μV/bar	Banda de frecvențe de lucru, pînă la kHz
52	40	3	15,000	8,4	20
30	30	1,5	23,000	7,0	50
25	12	1	4,500	3	100
10	10	1	3,000	2	150
8	8	0,5	3,500	—	—
6	6	0,5	1,000	0,8	200

de sensibilitate — frecvență (conform datelor de etalonare furnizate de VNIIM)* pentru o sondă cu diametrul de 15 mm este arătat în fig. 2.7.

Traductorul-receptor piezoelectric ППШ-В *cu vibrator piezoelectric cilindric și cu ghid de unde metalic.* Cu scopul de a se elimina acțiunea destructivă a fenomenului de cavitație asupra traductoarelor-receptoare piezoelectrice se pot folosi construcții în care vibratorul piezoelectric este scos din mediul care cavitează, iar vibrațiile sonore sînt transmise traductorului cu ajutorul unui ghid de unde metalic.

Se cunosc două variante de realizare a unor asemenea traductoare-receptoare piezoelectrice: lipirea vibratorului piezoelectric pe suprafața laterală a barei ghidului de unde și lipirea vibratorului într-o tăietură a ghidului de

*) Institutul unional de cercetări științifice în domeniul metalurgiei.

unde. Prima sondă (fig. 2.8, *a*) este o bară de oţel *1* avînd diametrul de 3 mm şi lungimea de circa 230 mm, pe a cărei parte cilindrică este introdus un cilindru cav 2, polarizat radial, confecţionat din titanat de bariu (diametrul exterior, 8 mm, înălţimea cilindrului, 5 mm).

La cea de-a doua sondă (fig. 2.8, *b*), pe bara de oţel *1* cu diametrul de 2 mm se lipeşte cu clei o plăcuţă 2 de titanat de bariu cu grosimea de 2,5 mm, polarizată pe direcţia grosimii. La ambele sonde barele sînt fixate în carcasele cilindrice *4* cu ajutorul rondelelor de cauciuc *5*. Barele sînt legate la pămînt din punct de vedere electric. Cea de-a doua armătură a vibratorului piezoelectric se conectează la un cablu prevăzut cu un conector coaxial. Sensibilitatea sondei de primul tip este de 0,096 μV/bar, iar sensibilitatea sondei de cel de-al doilea tip este de cîteva ori mai mare şi atinge valoarea 0,47 μV/bar, dar rezistenţa ei mecanică este ceva mai mică. Întreagă bară, cu excepţia piesei terminale *3* se acoperă cu un material de ecranare care absorbe sunetele.

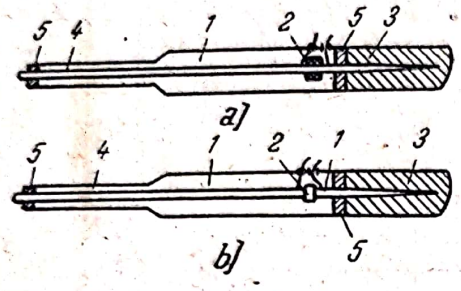


Fig. 2.8. Traductoarele-receptoare piezoelectrice ППШ-В:

a — cu elementul piezoelectric montat pe partea cilindrică a ghidului de unde; *b* — cu elementul piezoelectric lipit într-o tăietură a ghidului de unde.

Traductorul-receptor piezoelectric СПШ *cu vibrator piezoelectric sferic* (fig. 2.9). La acest traductor-receptor, vibratorul piezoelectric *1* avînd diametrul de 4—5 mm se leagă la partea conică a tubului de cauciuc 3 (diametrul acestuia din urmă, la locul de îmbinare, este 1 mm, iar lungimea lui este de 15 mm). Celălalt capăt al tubului de cauciuc se leagă la tubul de plută *4*, avînd aceeaşi conicitate şi lungime. Diametrul maxim al conului de plută este egal cu diametrul exterior al tubului metalic de legătură *5*, care nu depăşeşte 5 mm. În interiorul acestor tuburi este introdusă tija de oţel *6* (un ac de cusut). Între vîrful ascuţit al acului şi vibratorul piezoelectric se lasă un interstiţiu de 1—1,5 mm; legătura între ac şi electrodul interior se realizează cu ajutorul sîrmei subţiri *7*, înfăşurată în elice. Pe suprafaţa exterioară a tubului de cauciuc şi a celui de plută se depune un strat subţire de clei БФ-6 sau un alt material de acoperire elastic, care împiedică pătrunderea umezelii în interiorul tuburilor. Ecranarea traductorului este asigurată de către stratul acoperitor de argint al vibratorului piezoelectric şi de un strat de grafit, folosind cleiul БФ-6, în formă de solzi pe suprafaţa exterioară a tuburilor. Conductorul *9*, care împreună cu tubul metalic şi blindajul cablului antivibrator face legătura între electrodul exterior al vibratorului piezoelectric şi pămînt este aşezat sub formă de spire pe suprafaţa grafitată a tubului de cauciuc şi a celui de plută, peste care se depune din nou un strat acoperitor impermeabil.

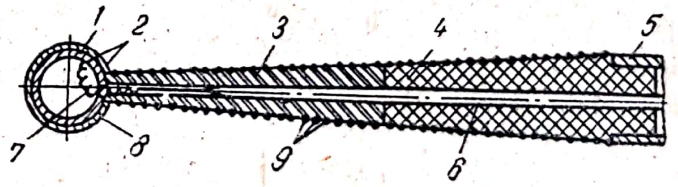


Fig. 2.9. Traductorul-receptor piezoelectric СПШ.

Pentru a se evita influenţa efectului piroelectric, adică apariţia unor sarcini electrostatice pe suprafeţele vibratorului piezoelectric din cauza variaţiei

temperaturii în cursul măsurărilor, traductorul este acoperit cu un strat termoizolant elastic avînd grosimea de 0,15—0,25 mm. În acest scop, pe sferă se depune un strat subțire de clei БФ-6. Traductorul descris are o caracteristică de directivitate de formă sferică. Banda frecvențelor recepționate este cuprinsă între limitele 0 și 100 kHz, iar sensibilitatea este de ordinul a 1 mV/bar.

Traductorul-receptor piezoelectric СПЩ-Р *cu vibrator piezoelectric sferic.* Pentru a se obține o bună sensibilitate a măsurărilor în cazul unei caracteristici de directivitate de formă circulară se folosesc traductoare-receptoare piezoelectrice cu vibratorul confecționat din titanat de bariu, cu dimensiunea maximă de circa 0,2 mm. Traductorul-receptor are o caracteristică de frecvență care se întinde pînă la 10 MHz, cu o neuniformitate (la frecvența de 10 MHz) de aproximativ 30%, o diagramă circulară de directivitate într-un plan perpendicular pe axa monturii vibratorului piezoelectric și o sensibilitate de circa 0,004—0,007 μV/bar.

Schema de montaj a traductorului-receptor este arătată în fig. 2.10. Elementul sensibil *1* al traductorului este confecționat sub forma unui strat sferic din titanat de bariu cu grosimea de circa 0,05 mm, depus pe bila de platină 2, care se găsește la capătul sîrmei *8* cu diametrul de 0,05 mm. Bila constituie electrodul interior, iar sîrma — racordul pentru acest electrod. Sîrma trece prin interiorul tubului capilar *4*, la a cărui parte frontală este fixată bila. Capilarul reprezintă continuarea tubului de sticlă 5, care servește drept suport și drept bornă coaxială. Pe suprafața exterioară a tubului, capilarului și stratului de titanat de bariu este depus electrodul de argint *6*. Tubul se termină cu dulia de racordare 7, destinată să facă legături între traductorul-receptor și preamplificator.

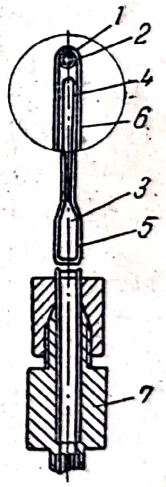


Fig. 2.10. Traductorul-receptor piezoelectric СПЩ Р.

Trăsătura distinctivă a construcției acestui traductor-receptor constă în faptul că vibratorul piezoelectric nu este confecționat separat, ci este obținut prin ardere, direct pe electrodul interior, care este format din platină. Bila cu diametrul de 0,05—0,15 mm de la capătul sîrmei este obținută prin topire în arc electric. Stratul ceramic se obține prin arderea prafului de titanat de bariu pe bila de platină.

Sîrma, la al cărei capăt se găsește bila, se introduce într-un tub capilar al cărui diametru interior este mai mic decît diametrul bilei. Tubul capilar este obținut prin tragere la cald din tubul de sticlă, care are un diametru de circa 5 mm. Partea frontală a tubului capilar este șlefuită în așa fel cu o bucată de agat, încît planul ei să fie perpendicular pe axa și bila să atingă uniform sticla. Fixarea bilei se face prin sudare la flacără. Electrodul exterior se depune prin metoda arderii argintului. Polarizarea stratului de titanat de bariu se face la o intensitate a cîmpului electric de circa 20 kV/cm. În timpul exploatării traductorului-receptor este indicat să se lucreze cu o subpolarizare constantă, aplicînd o tensiune la intrarea preamplificatorului, la care este legat traductorul-receptor, printr-o rezistență de cîțiva megohmi. Dacă există o subpolarizare constantă, sensibilitatea traductorului-receptor este ceva mai mare decît atunci

cînd există numai polarizarea remanentă. Capacitatea traductorului-receptor, egală cu suma capacităţilor vibratorului piezoelectric şi bornei coaxiale, este de circa 20 pF.

În funcţie de destinaţie, diversele traductoare-receptoare descrise sînt folosite drept traductoare în aparatele care servesc la măsurarea frecvenţei şi intensităţii vibraţiilor ultrasonore.

2.3. MĂSURAREA FRECVENŢEI VIBRAŢIILOR ELASTICE

Pentru măsurarea frecvenţei vibraţiilor elastice produse de vibratoare se folosesc două moduri de măsurare: măsurarea directă a frecvenţei oscilaţiilor electrice care excită vibratorul şi măsurarea frecvenţei vibraţiilor elastice din mediul iradiat cu sunete.

În primul caz, pentru măsurare se folosesc aparate de măsurat tipice: frecvenţmetre sau undametre, conectate direct la generatorul de oscilaţii electrice. În cel de-al doilea caz, aparatul se compune din unul dintre traductoarele-receptoare descrise mai sus, care transformă vibraţiile elastice ale mediului în oscilaţii electrice, şi un frecvenţmetru tipic, care indică frecvenţa oscilaţiilor în unităţi stabilite.

În cele ce urmează se vor expune pe scurt metodele şi datele tehnice fundamentale ale cîtorva aparate tip, folosite în mod obişnuit pentru măsurarea frecvenţei în instalaţiile cu ultrasunete.

Frecvenţmetrul de tip ИЧ-6 se utilizează pentru măsurarea frecvenţei oscilaţiilor electrice de frecvenţă ultrasonoră ale generatoarelor care excită vibratoarele, în gama de frecvenţe cuprinsă între limitele 10 Hz şi 200 kHz. La intrarea acestui aparat se aplică tensiunea de frecvenţa care urmează a fi măsurată, tensiune luată de la ieşirea generatorului. Citirea se face pe scara aparatului, etalonată în herţi. Pentru citirea exactă a valorii frecvenţei măsurate, întreaga gamă a aparatului a fost împărţită în 11 subgame, care cuprind intervalul de la 100 Hz pînă la 200 kHz.

Pentru măsurarea frecvenţei vibraţiilor elastice direct în mediul respectiv, în gama de frecvenţe pînă la 200 kHz, se pot utiliza de asemenea frecvenţmetre de tip ИЧ-6. Tensiunea de înaltă frecvenţă se aplică frecvenţmetrului cu ajutorul unor traductoare-receptoare oarecare, după preamplificarea semnalului pînă la un nivel suficient pentru funcţionarea normală a aparatului ИЧ-6

Undametrul heterodină se foloseşte pentru măsurarea frecvenţei unor oscilaţii de peste 200 kHz. Utilizarea undametrului heterodină se bazează în special pe metoda „bătăilor nule". Conform acestei metode, unui detector oarecare i se aplică simultan oscilaţii de două frecvenţe înalte — frecvenţa f_0 a unui oscilator etalon şi frecvenţa f_x care urmează să fie măsurată. La ieşirea detectorului va apărea o tensiune de frecvenţă $F_1 = f_0 - f_x$ sau $F_2 = f_x - f_0$.

Drept indicator se pot folosi, de pildă, căştile telefonice. Cînd are loc egalitatea frecvenţelor, $f_0 = f_x$, vor apărea bătăi nule, observate de exemplu prin dispariţia sunetului într-o cască telefonică. Măsurarea se reduce la determinarea frecvenţei oscilatorului etalon, pentru care au loc bătăile nule.

Metoda bătăilor nule permite efectuarea cu mare exactitate a măsurărilor. Dintre aparatele de acest tip fac parte undametrele tip 526, 527 şi 528. Cel mai răspîndit este undametrul heterodină tip 528 care funcţionează în gama de frecvenţe cuprinsă între 125 kHz şi 20 MHz.

Pentru măsurarea cu mare precizie a frecvenţelor înalte se folosesc şi oscilatoare etalon cu cuarţ, destinate să verifice punctele de referinţă ale scării oscilatoarelor.

Măsurarea frecvenţei oscilaţiilor poate fi efectuată şi cu ajutorul osciloscoafelor catodice, pe baza figurilor Lissajous.

2.4. MĂSURAREA INTENSITĂȚII VIBRAȚIILOR ELASTICE

Pentru determinarea intensităţii vibraţiilor elastice din diferite medii există o serie întreagă de metode şi aparate care se deosebesc unele de altele prin principiile conform cărora se face măsurarea. Aceste aparate pot fi împărţite în patru grupe. Din prima grupă fac parte aparatele care folosesc traductoarele-receptoare acustice descrise mai sus, care transformă vibraţiile elastice ale mediului în oscilaţii electrice; din cea de-a doua grupă fac parte traductoarele-receptoare care reacţionează la variaţiile de temperatură; din cea de-a treia grupă fac parte aparatele în care se utilizează dispozitive ce transformă „presiunea" sunetului în mişcări liniare sau de rotaţie ale elementului de măsurare; în fine, din grupa a patra fac parte metodele de calcul şi metodele de observare vizuală.

a) Aparatele de măsurat intensitatea în care se folosesc traductoare-receptoare acustice

Aparatul de măsurat zgomote ШИ-1 serveşte la măsurarea intensităţilor mici şi medii ale vibraţiilor din mediile gazoase, în gama frecvenţelor audio joase. Aparatele de măsurat zgomote ШИ-1 au următoarele caracteristici tehnice principale: gama intensităţilor măsurate ale sunetului 55-140 dB, gama frecvenţelor măsurate 100 Hz-7 kHz; aparatul este alimentat de la baterii cu 45 V pentru circuitele anodice şi cu 1,5 V pentru circuitele filamentelor tuburilor. Dimensiunile de gabarit ale aparatului sînt 211×163×115 mm; greutatea aparatului este de 3,7 kg; este realizat ca aparat portabil.

Principiul de funcţionare al aparatului de măsurat zgomote constă în următoarele: traductorul-receptor acustic transformă vibraţiile sonore într-o tensiune electrică de frecvenţă şi amplitudine corespunzătoare. Această tensiune este aplicată unui amplificator special, care o amplifică de un anumit număr de ori, este redresată şi apoi este măsurată de un aparat cu ac indicator, etalonat direct în unităţi de nivel al intensităţii, adică în decibeli. Pentru transformarea decibelilor în waţi pe centimetru pătrat se folosesc graficele reprezentate în fig. 2.11 şi 2.12, sau o tabelă de transformare.

Scanned with OKEN Scanner

În aparatul ШИ-1 (fig. 2.13) s-a folosit un microfon electrodinamic. Cele patru etaje de amplificare sînt realizate cu tuburi 1Б 1П şi 2П 1П. Pentru lărgirea limitelor de măsurare, în aparat s-a folosit un amplificator de tensiune cu 2 etaje. Citirea intensităţii sunetului se face însumînd indicaţiile comutatorului amplificatorului cu cele ale aparatului indicator. Acesta este prevăzut

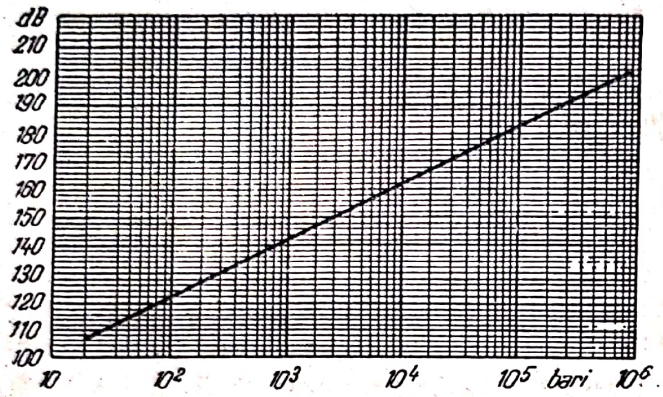


Fig. 2.11. Grafic pentru transformarea decibelilor în bari.

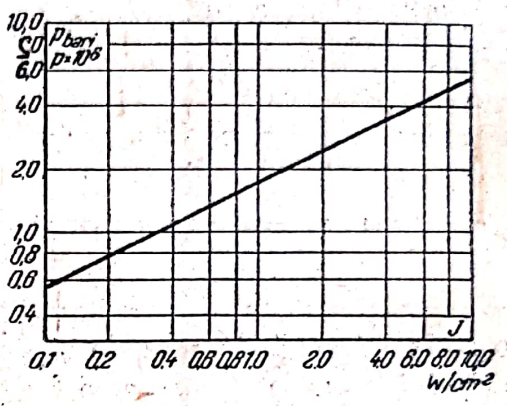


Fig. 2.12. Grafic pentru transformarea barilor în W/cm².

cu piese polare de construcţie specială, pentru obţinerea unei scări liniare, etalonată în decibeli.

Aparatul de măsurat presiunea sonoră ИЗД-М. După cum se ştie, presiunea sonoră caracterizează în mare măsură intensitatea unui cîmp sonor şi, din

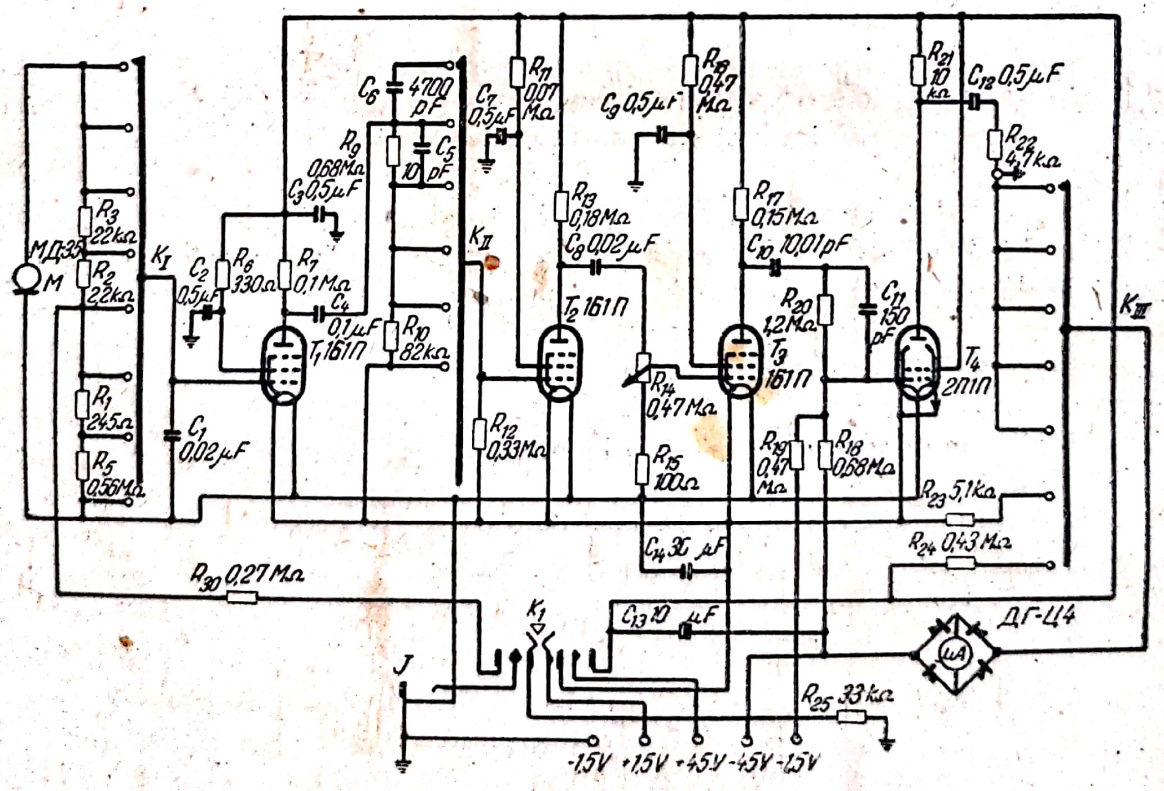


Fig. 2.13. Schema de principiu a aparatului de măsurat zgomotul ШИ-1.

această cauză, aparatele pentru măsurarea presiunii sonore sînt folosite pe scară largă şi pentru măsurarea intensităţii vibraţiilor.

Aparatul ИЗД-М se compune din trei subansambluri principale: traductorul-receptor (o sondă), un amplificator şi elementul indicator (un voltmetru electronic). Schema-bloc a acestui aparat este arătată în fig. 2.14. Sonda *1* cu traductorul-receptor piezoeletric, confecţionat din titanat de bariu, este aşezată în recipientul de lucru 2 (în care se produc vibraţii ultrasonore), în punctul unde este necesar să se măsoare presiunea sonoră. Tensiunea dezvoltată de sondă este amplificată de amplificatorul 3, iar după aceea se aplică voltmetrului electronic *4*.

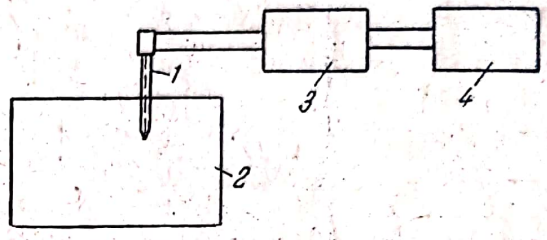


Fig. 2.14. Schema-bloc a aparatului НЗД М.

Sonda aparatului ИЗД-М trebuie să aibă o sensibilitate mare, care să nu depindă de frecvenţă; sonda nu trebuie să prezinte o directivitate pronunţată, atît în plan orizontal, cît şi în plan vertical, deoarece în caz contrar apar erori însemnate şi de nedefinit la măsurarea presiunii sonore (mai ales atunci cînd vibratoarele sînt amplasate unul faţă de altul sub un unghi, sau unul în faţa altuia) etc; condiţiile menţionate mai sus sînt îndeplinite, de pildă, de sonda ППШ-1 descrisă mai sus.

Sonda se conectează la amplificator sau la voltmetrul electronic cu ajutorul unei fişe ecranate speciale.

Deoarece în cîmpurile sonore de intensitate slabă tensiunea care apare pe placa sondei este insuficientă pentru funcţionarea normală a aparatului indicator, în scopul amplificării acestor tensiuni se foloseşte amplificatorul a

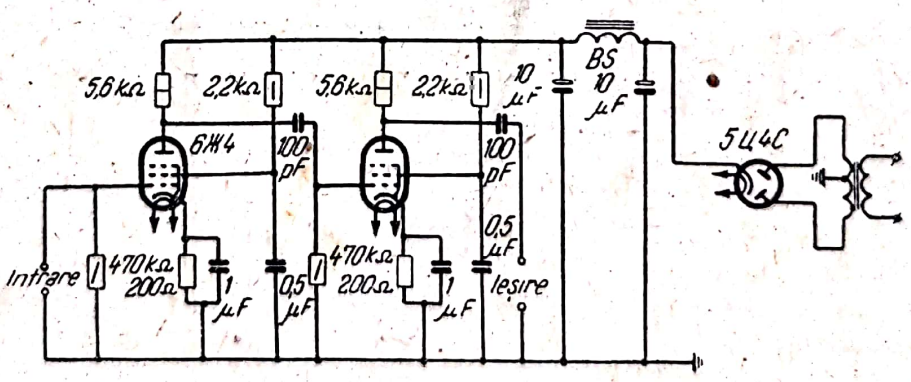


Fig. 2.15. Schema de principiu a amplificatorului aparatului ИЗД-М.

cărui schemă este reprezentată în fig. 2.15. De la ieşirea amplificatorului semnalul se aplică voltmetrului electronic. Alimentarea amplificatorului se face printr-un redresor de la reţeaua de curent alternativ de 220 V. Amplificarea dată de amplificator este egală cu aproximativ 200, ceea ce este cu totul suficient pentru măsurările practice.

Scanned with OKEN Scanner

Pentru măsurarea semnalelor sinusoidale sau a celor în formă de impulsuri, în circuitul de măsurare considerat se utilizează un voltmetru electronic de tip МВЛ-2М. Aspectul exterior al aparatului este arătat în fig. 2.16.

Aparatul de măsurat presiunea sonoră de tip А3 este proiectat pentru funcţionarea în lichide şi gaze. El funcţionează în gama de frecvenţe de la 1—5 kHz la 20—25 kHz. Frecvenţa superioară este determinată de dimensiunile traductorului-receptor. Aparatul este calculat să funcţioneze împreună cu un voltmetru electronic sau un oscilograf catodic.

Drept traductor-receptor pentru presiunea sonoră se foloseşte o sferă cu pereţi subţiri, confecţionată din ceramică de titanat de bariu, la care s-a adăugat 6% titanat de plumb. Cele două semisfere, care au pe partea interioară şi pe cea exterioară electrozi de argint, sînt lipite cu clei БФ-2 pe linia de îmbinare. În prima semisferă există un orificiu în care este lipită etanş o bucşă de cauciuc elastică. Prin bucşă trece un conductor flexibil avînd izolaţia de policlorură de vinil, care — cu ajutorul unor conductoare — este legat la elec-

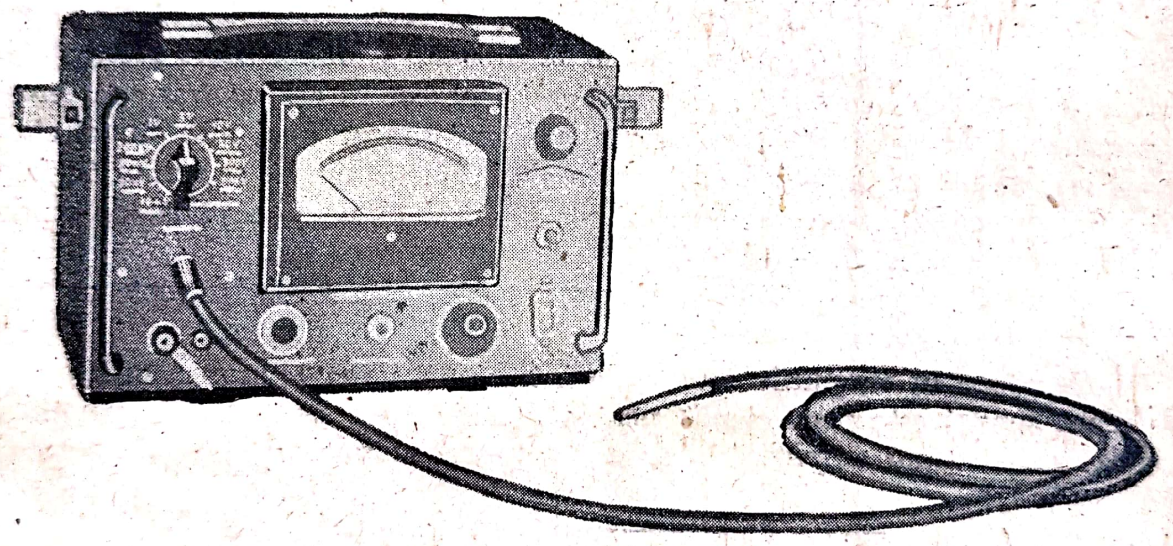


Fig. 2.16. Aspectul exterior al aparatului МВЛ-2М.

trozii interiori ai ambelor semisfere. Electrozii exteriori ai semisferelor sînt lipiţi pe linia de îmbinare în mai multe puncte. Drept conexiune a electrodului exterior se foloseşte un conductor flexibil, lipit de suprafaţa exterioară metalizată a sferei.

Ca rezultat al deformaţiilor pe care le suferă vibratorul sferic în timpul trecerii undei sonore, la bornele traductorului-receptor apare o forţă electromotoare a cărei valoare este proporţională cu valoarea instantanee a presiunii sonore. Această forţă electromotoare este amplificată şi apoi poate fi măsurată cu ajutorul unui voltmetru electronic, al unui oscilograf etc. Caracteristica de directivitate a traductorului-receptor este practic sferică.

Amplificatorul este realizat cu tuburi din seria miniatură 6Ж1П (sau 6Ж3П) şi are trei etaje. La ieşirea amplificatorului s-a prevăzut un repetor catodic, care asigură o impedanţă mică de ieşire a amplificatorului; deci la amplificator se pot conecta mai multe aparate de măsurat în paralel, precum şi un cablu

ecranat lung. Aparatul este montat într-o cutie metalică şi are pe panoul din faţă un jac pentru conectarea fişei sondei, jacuri de ieşire pentru conectarea aparatelor de măsurat, o lampă de semnalizare, un întrerupător basculant şi o siguranţă. Adesea aparatul este înzestrat cu mai multe traductoare-receptoare sferice de diametre diferite.

Aparatul A3 posedă următoarele caracteristici tehnice.

Sensibilitatea traductorului-receptor sferic determinată prin metoda statică: 1,65 μV/bar.

Amplificarea dată de amplificator: 180.

Gama de frecvenţe a amplificatorului: 1 000—20 000 Hz.

Neuniformitatea caracteristicii de frecvenţă, în limitele gamei de frecvenţe de lucru a amplificatorului: 5%.

Variaţia amplificării în cazul cînd tensiunea reţelei de alimentare variază între 200 şi 230 V: cel mult 1,5%.

Alimentarea amplificatorului: 220 V, 50 Hz.

Puterea absorbită: 10 W.

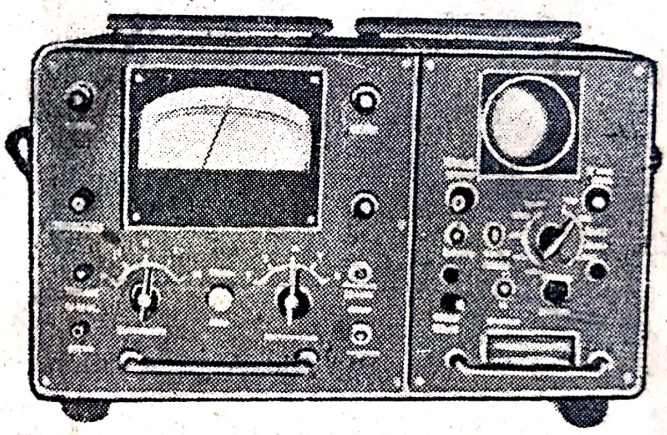


Fig. 2.17. Aspectul exterior al aparatului A3-3.

În ultimul timp a început fabricarea aparatului A3-3. El se compune dintr-un set de traductoare-receptoare de presiune de formă sferică şi un bloc electronic (fig. 2.17). Aparatul A3-3 permite măsurarea presiunii sonore şi a frecvenţei acesteia, precum şi observarea vizuală — pe ecranul unui tub catodic — a curbei care exprimă variaţia presiunii. Blocul electronic al aparatului include un voltmetru, un frecvenţmetru şi un oscilograf. Citirea indicaţiilor se face la un instrument indicator cu ac, a cărui scară este etalonată în milivolţi şi în kiloherţi. Transformarea indicaţiilor voltmetrului în unităţi de presiune sonoră se face cu ajutorul unei nomograme.

La aparatul A3-3 limitele de măsurare sînt identice cu cele ale aparatului A3. Pe panoul frontal al aparatului A3-3 au fost prevăzute borne, la care se aplică semnalul de la ieşirea unui amplificator care dă o amplificare $K=15\,000$. La aceste borne se pot conecta aparate de măsurat standard pentru controlul funcţionării aparatului A3-3.

Aparatul de măsurat presiuni sonore ИЗД-Г se foloseşte pentru măsurarea spectrului de frecvenţe şi a presiunii sonore a vibratoarelor hidrodinamice, sirenelor etc.

Pentru caracterizarea cîmpului sonor al vibratoarelor hidrodinamice şi sirenelor este necesar să se cunoască distribuţia presiunii sonore în funcţie de frecvenţă, adică să se cunoască spectrul de radiaţie.

În prezent, analiza directă a vibraţiilor sonore complexe este caracterizată în mod obişnuit prin analiza unor oscilaţii electrice. Conform teoriei lui Fou-

rier, orice oscilaţie periodică complexă poate fi reprezentată printr-o sumă de oscilaţii sinusoidale, care include frecvenţa fundamentală şi o serie de frecvenţe multiple succesive sau armonice. Această descompunere a unei vibraţii sonore complexe într-o serie de vibraţii sinusoidale simple poartă numele de descompunere spectrală a vibraţiilor sonore.

Analiza vibraţiilor sonore se face cu un aparat special, analizorul de spectre, cu care se poate determina distribuţia relativă a amplitudinilor sau energiei semnalului în funcţie de frecvenţă, cu alte cuvinte care permite determinarea spectrului de radiaţie.

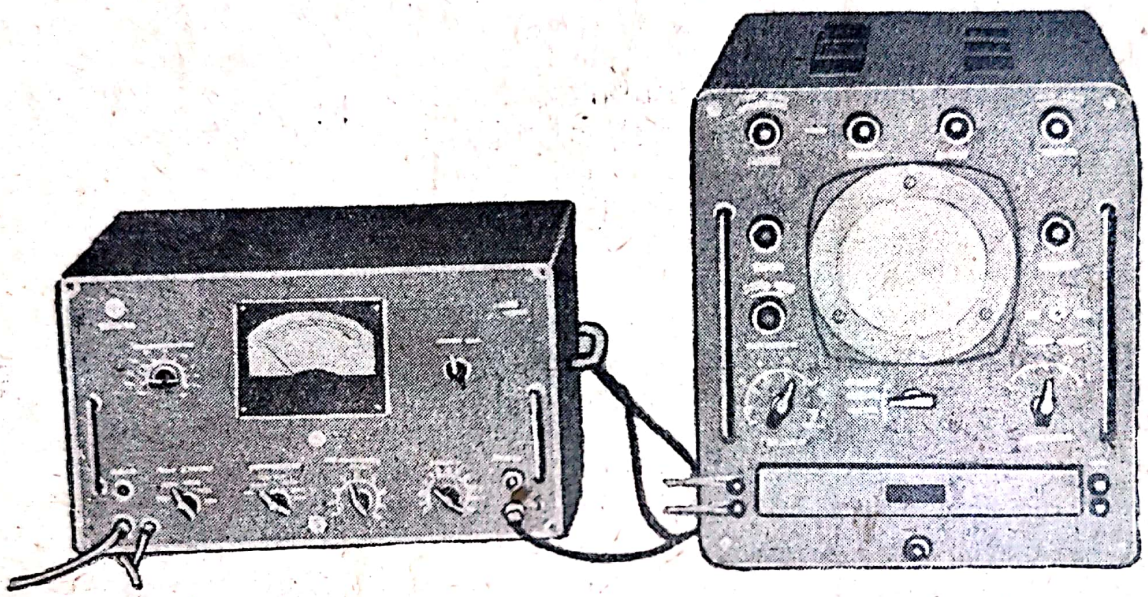


Fig. 2.18. Aspectul exterior al aparatului ИЗД-Г.

Aspectul exterior al aparatului ИЗД-Г este arătat în fig. 2.18.

Vibraţiile ultrasonore produse în recipientul de lucru sînt percepute de sondă, apoi sînt amplificate de amplificator şi se aplică unui dispozitiv special — analizorul de spectre. Pe reţeaua gradată a analizorului se determină frecvenţele componentelor spectrale şi amplitudinea lor în comparaţie cu componenta fundamentală a semnalului studiat. Dacă este necesar să se determine valorile tensiunilor şi frecvenţelor tuturor, sau cîtorva dintre componentele spectrale ale semnalului studiat, trebuie să se etaloneze scara amplitudinilor şi scara frecvenţelor. Etalonarea acestor două scări se face cu ajutorul unui oscilator de audiofrecvenţă de tip ЗГ-10 sau ЗГ-12 şi a unui voltmetru electronic de tip МВЛ-2М.

Drept sondă pentru aparatul ИЗД-Г se poate utiliza unul dintre traductoarele-receptoare piezoelectrice lamelare descrise. Ele trebuie să fie etalonate de la 0,5 pînă la 30 kHz. Adeseori se folosesc în acest scop traductoare-receptoare cilindrice de titanat de bariu. Sonda se conectează la amplificator cu ajutorul unei fişe ecranate speciale.

Tensiunea care apare la bornele traductorului-receptor de titanat de bariu se dovedeşte a fi insuficientă pentru funcţionarea normală a analizorului. Pentru amplificarea acestor tensiuni se recurge la un amplificator industrial cu trei etaje, de tip 28ИМ, care asigură amplificarea semnalului în

gama 200—10 000 Hz. Amplificarea dată de amplificator poate fi variată fin cu ajutorul unui regulator. Caracteristica de frecvență este liniară, cu o eroare de 5%, în întreaga gamă de frecvențe menționată.

Ieșirea amplificatorului se conectează la intrarea analizorului de spectre.

În aparatul ИЗД-Г se folosește un analizor de tip АСЧ X-1, a cărui schemă-bloc este reprezentată în fig. 2.19.

Elementele componente principale ale analizorului de spectre sînt: un dispozitiv de recepție cu bandă de trecere îngustă și un dispozitiv indicator.

Separarea componentelor armonice în aparat se bazează pe metoda analizei succesive, cu transformarea spectrului inițial. Metoda analizei succesive

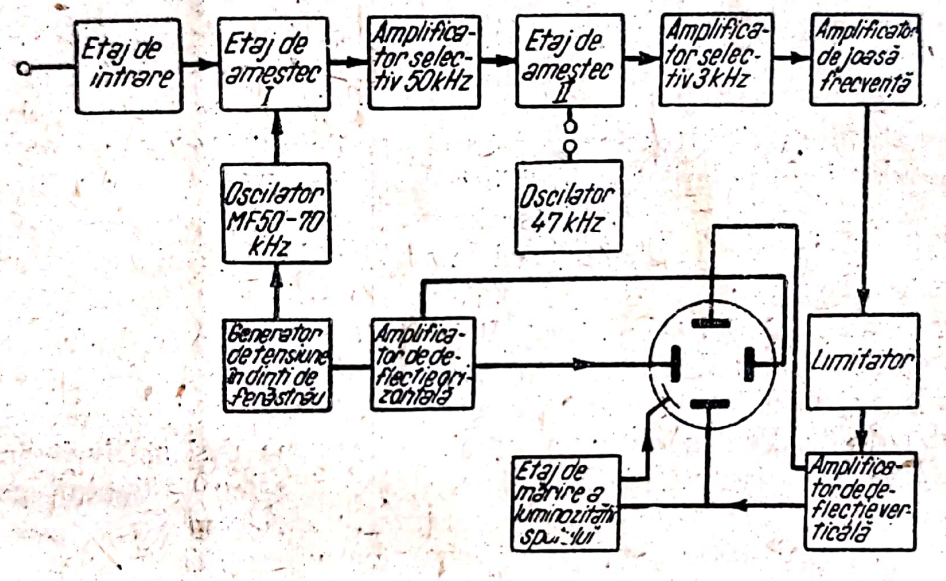


Fig. 2.19. Schema-bloc a analizorului АСЧХ-1.

constă în folosirea unui dispozitiv selectiv pentru separarea pe rînd a componentelor armonice.

Semnalul care sosește de la sondă și care a fost amplificat de către amplificator se aplică etajului de intrare al aparatului. Divizorul din etajul de intrare este alcătuit din șapte trepte care asigură funcționarea normală a aparatului în cazul unor tensiuni de intrare cu valori cuprinse între 10 mV și 100 V.

După etajul de intrare, semnalul se aplică etajului de amestec *I*, la care se aplică și tensiunea de la un oscilator local, modulat în frecvență (oscilator *MF*). Frecvența semnalului și frecvența oscilatorului local se amestecă în etajul de amestec.

Dacă frecvența semnalului este f_s, iar frecvența oscilatorului local este f_{ol}, ca rezultat al amestecului vor apărea frecvențe de amestec. Filtrul de bandă îngustă conectat după etajul de amestec separă numai frecvența de amestec ($f_s - f_{ol} = 50$ kHz). Tensiunea cu această frecvență trece printr-un amplificator selectiv de 50 kHz, care posedă o bandă de trecere egală cu 500 Hz.

De fiecare dată cînd diferența dintre frecvența oscilațiilor generate de oscilatorul MF și frecvența unei armonice oarecare a tensiunii studiate devine egală cu frecvența de acord de 50 kHz a filtrului amplificatorului selectiv, de

la ieşirea acestuia se vor aplica — la intrarea unui al doilea etaj de amestec — impulsuri a căror amplitudine este proporţională cu amplitudinea armonicei respective.

Cel de-al doilea etaj de amestec a fost introdus pentru a se obţine o putere separatoare mai mare a aparatului, deoarece primul filtru selectiv, a cărui bandă de trecere este relativ largă (500 Hz), nu poate separa liniile spectrale apropiate ca frecvenţă. În acest etaj de amestec are loc o a doua schimbare de frecvenţă: frecvenţa de 50 kHz se amestecă cu frecvenţa de 47 kHz a unui oscilator local. După aceea, cu ajutorul filtrului din cel de-al doilea amplificator (acordat pe 3 kHz şi avînd o bandă de trecere de 4—5 Hz) se separă frecvenţa de 3 kHz rezultată din cel de-al doilea amestec.

Tensiunea cu această frecvenţă, proporţională cu amplitudinea armonicei respective a semnalului studiat, este amplificată de un al doilea amplificator (selectiv) şi se aplică apoi unui amplificator de frecvenţe joase cu două etaje. De la acest ultim etaj tensiunea este aplicată unui limitator care, din mai multe impulsuri de polaritate diferită, separă numai impulsurile de o singură polaritate. După limitare, această tensiune se aplică la intrarea amplificatorului de deflecţie pe verticală, iar apoi la plăcile de deflecţie pe verticală ale tubului catodic.

Aşadar, pe ecranul tubului catodic se obţine un spectru de frecvenţe vizibil şi imobil în timp, deoarece generatorul de tensiune în dinţi de ferăstrău este simultan şi modulatorul oscilatorului *MF* şi sursa de tensiune de baleiaj pentru tubul catodic. Pentru obţinerea unei oscilograme mai strălucitoare şi mai clare, în circuitele aparatului se realizează intensificarea strălucirii spotului în momentul trecerii amplitudinilor componentelor spectrale pe ecranul analizorului. Pe scara gradată se pot evalua frecvenţele componentelor spectrale şi se poate determina amplitudinea lor în raport cu componenta fundamentală a semnalului studiat.

Caracteristicile principale ale analizorului de spectre sînt: gama frecvenţelor, puterea separatoare dinamică, eroarea de evaluare relativă a amplitudinilor componentelor armonice.

Gama frecvenţelor observate: 20—20 000 Hz (în 4 subgame: 20—500, 60—2 000, 100—5 000, 400—20 000 Hz, cu timpul minim necesar pentru analiză egal cu 45, 15, 5 şi respectiv 3 s).

Puterea separatoarea dinamică, corespunzătoare celor patru subgame, în cazul timpului minim necesar pentru analiză, este de cel puţin 12, 60, 100 şi 400 Hz.

Eroarea de evaluare relativă a amplitudinii componentelor armonice în raport cu amplitudinea primei armonice (frecvenţa fundamentală) este de cel mult $\pm 10\%$ în cazul timpului minim necesar pentru analiză. Sensibilitatea pe subgame este de cel puţin: 4; 1,3; 1; 0,8 mm/mV.

Schema de principiu a aparatului este arătată în fig. 2.20.

Aparatul este construit sub forma a două blocuri separate: blocul analizor şi blocul de alimentare. Pe panoul frontal al blocului analizor se găsesc toate butoanele de comandă şi de control ale aparatului. Pe peretele posterior al şasiului este montat dispozitivul de blocare al aparatului.

Scanned with OKEN Scanner

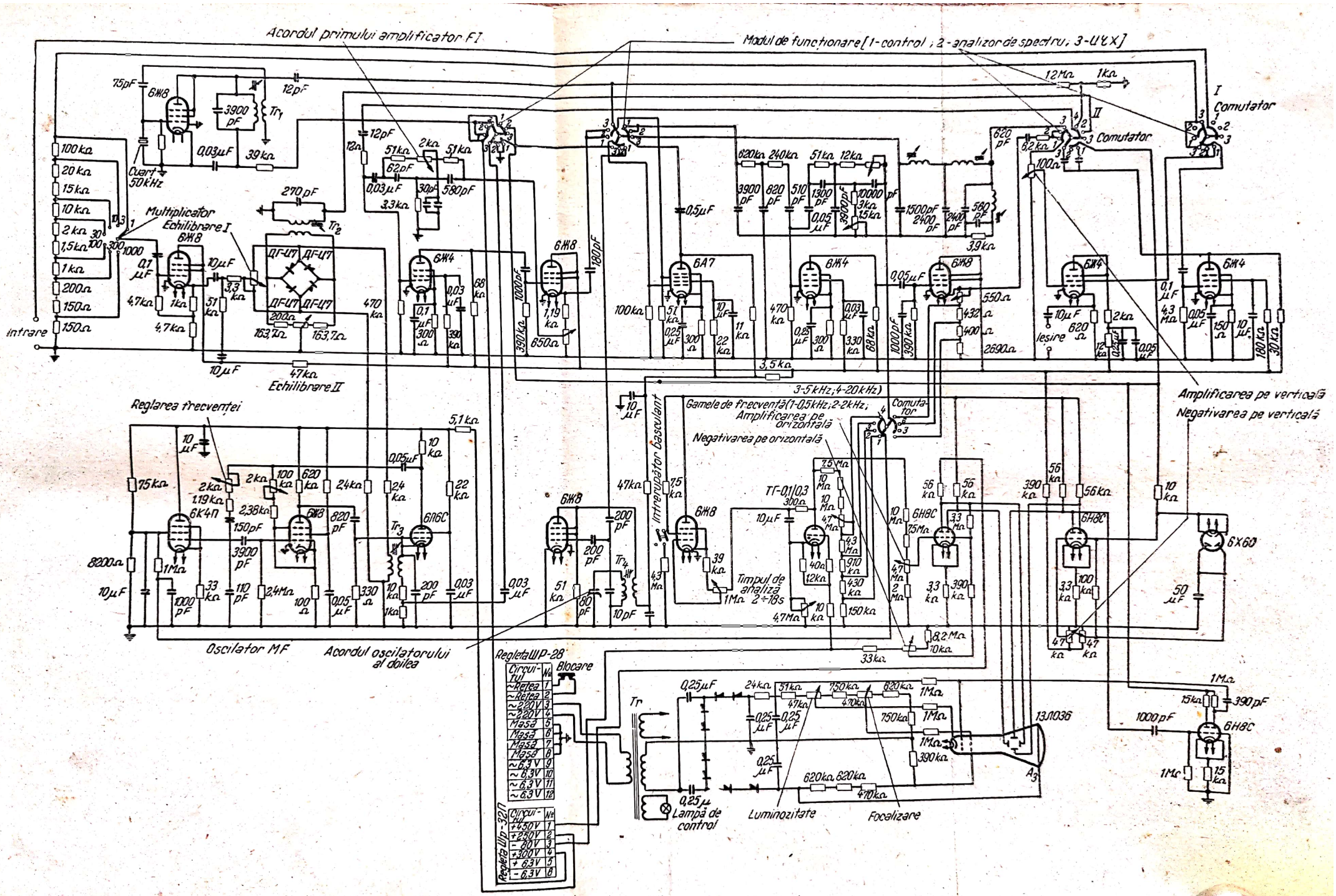


Fig. 2.20. Schema de principiu a aparatului AСЧX-1.

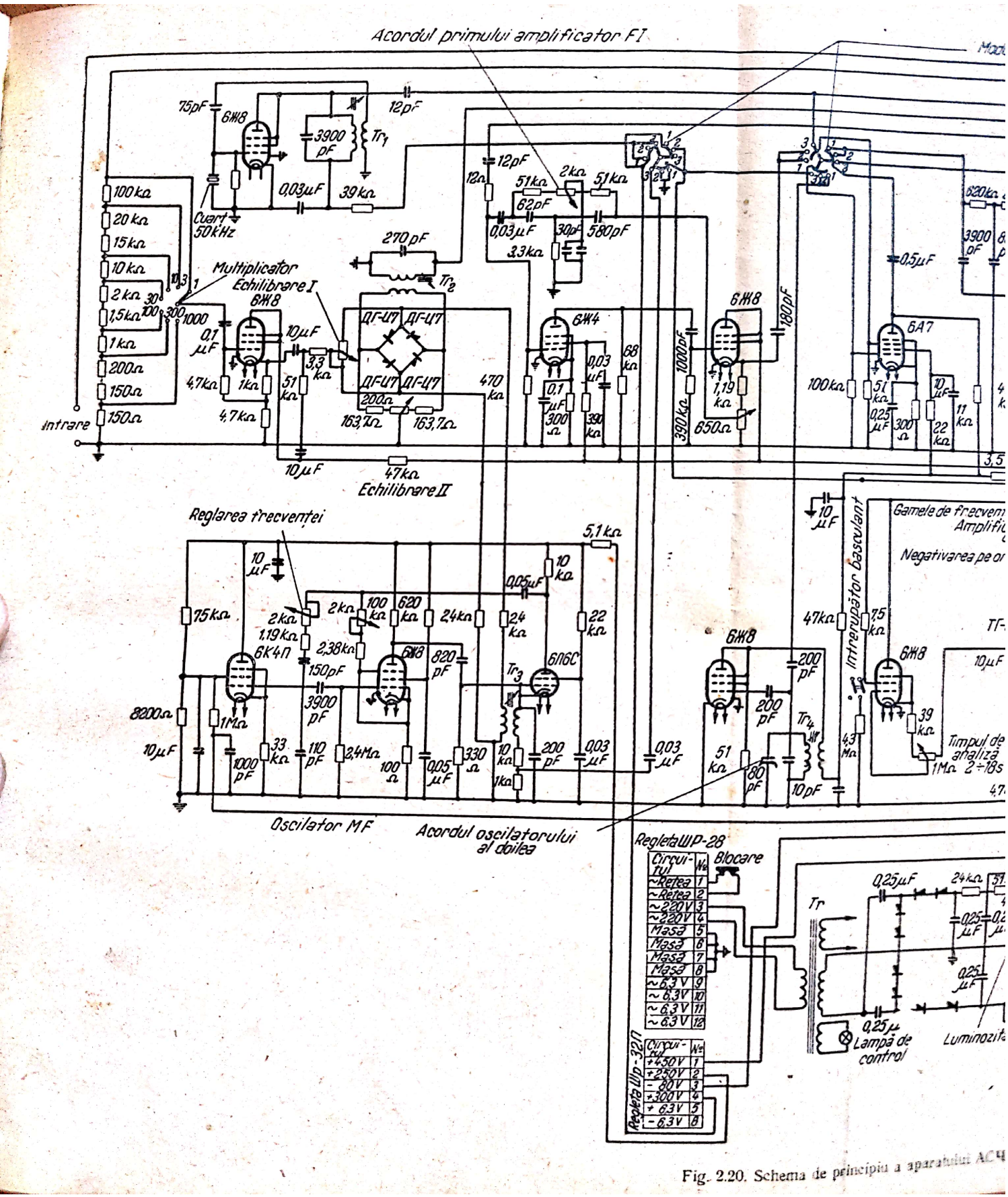


Fig. 2.20. Schema de principiu a aparatului AC

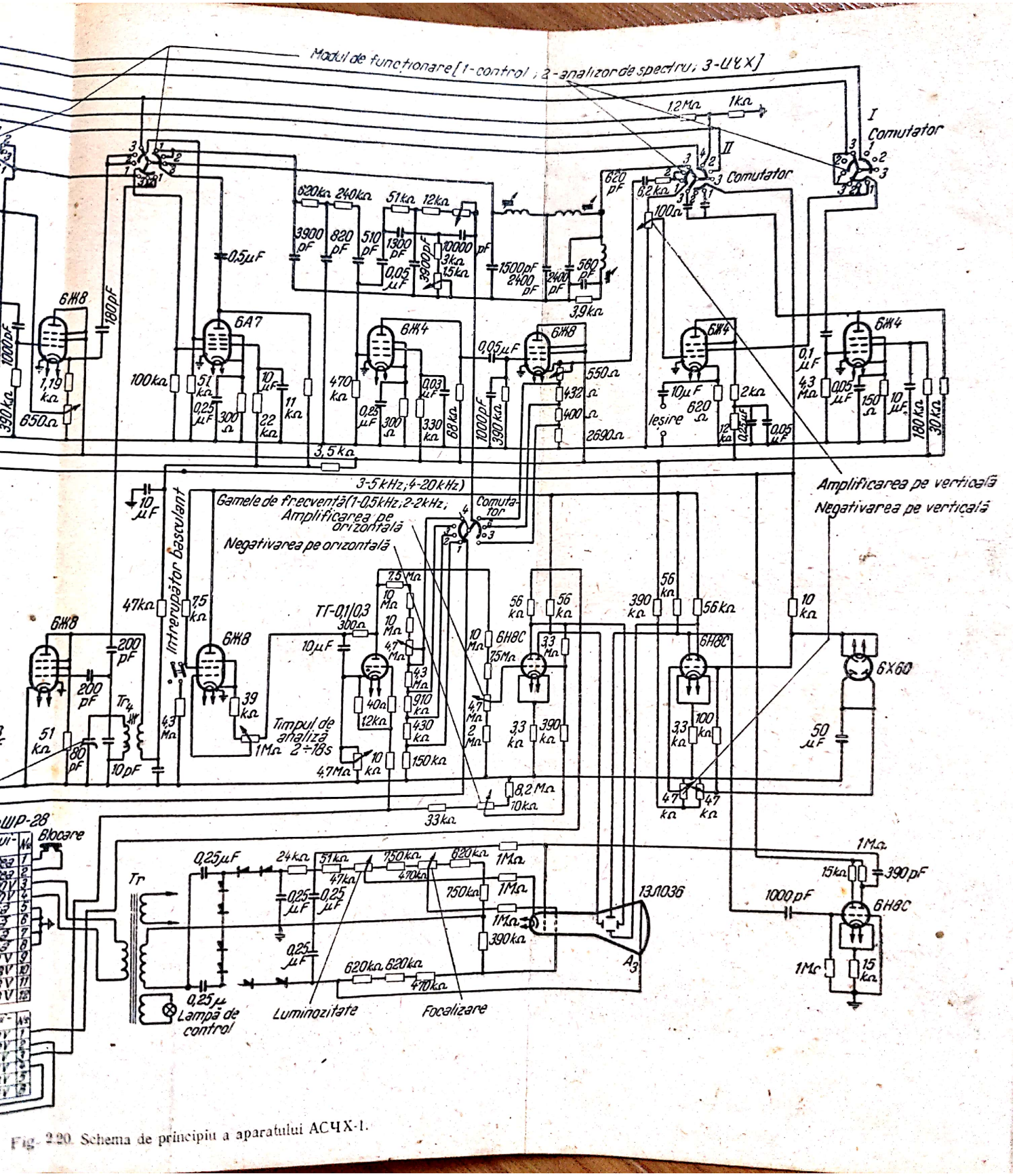
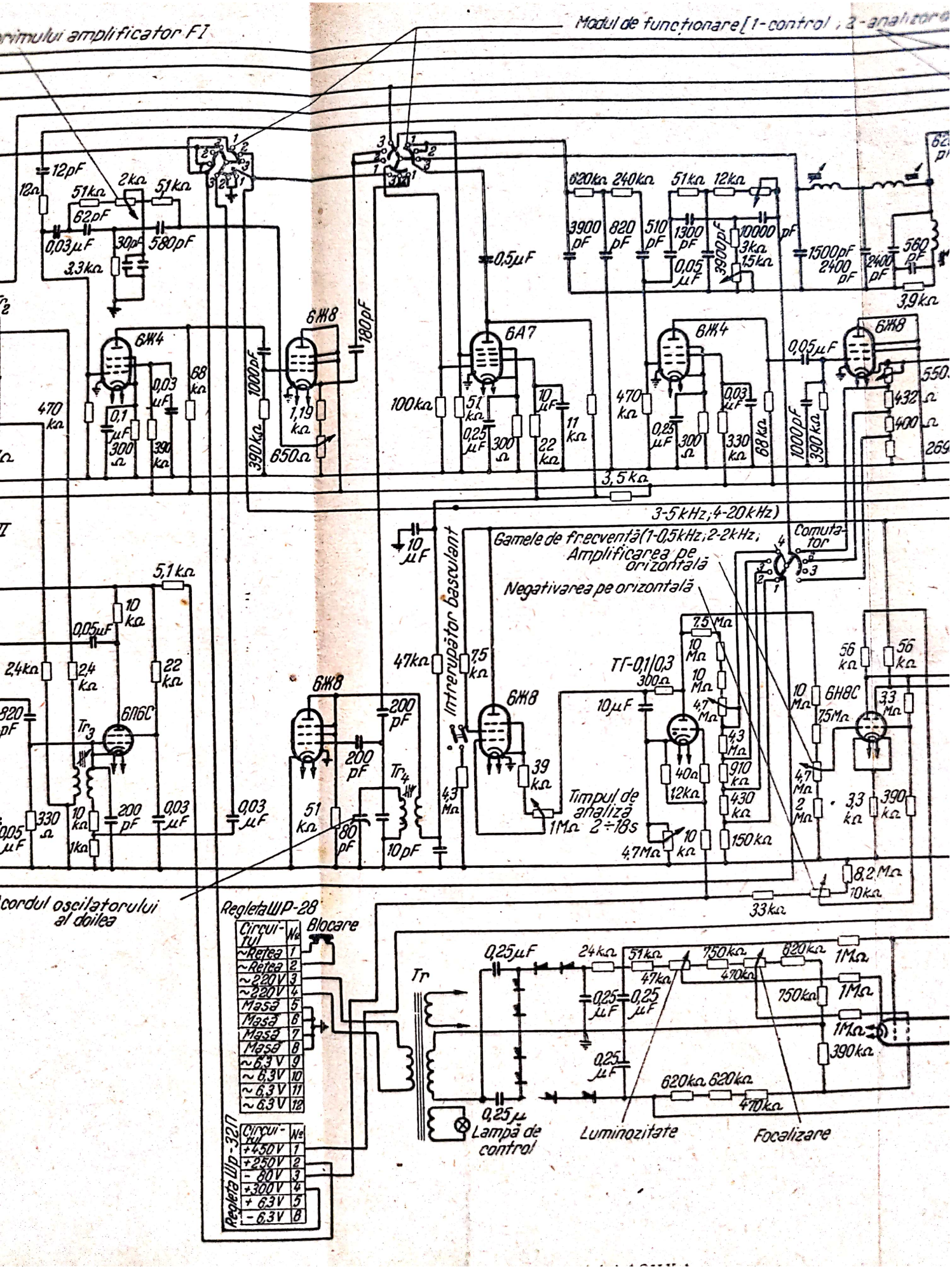
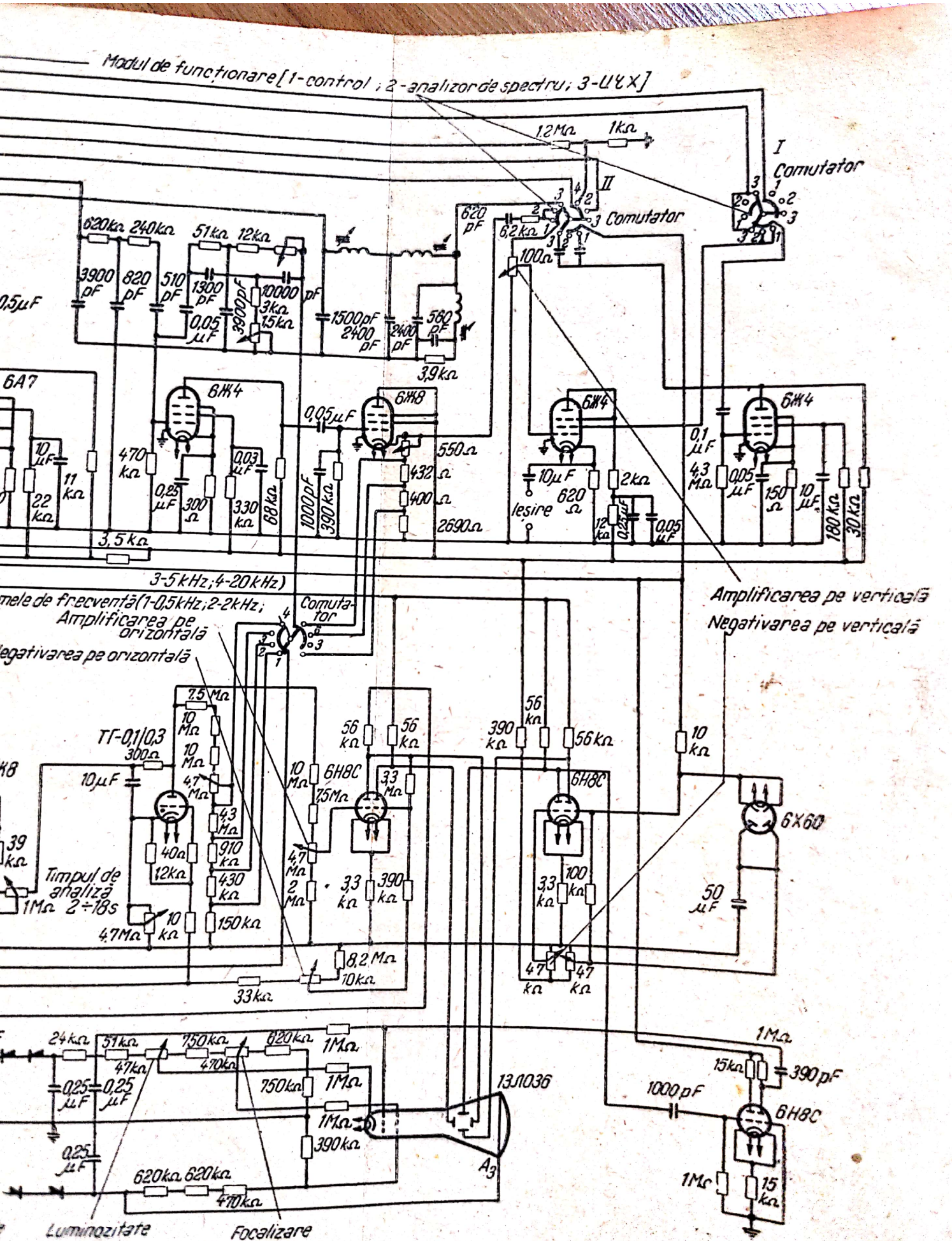


Fig. 220. Schema de principiu a aparatului АСЧХ-1.



rimului amplificator FI
Modul de funcționare [1-control ; 2-analizor
6Ж4
6Ж8
6А7
6Ж4
6Ж8
6Л6С
6Ж8
6Ж8
6Н8С
Intrerupător basculant
Gamele de frecvență (1-0,5kHz; 2-2kHz; 3-5kHz; 4-20kHz)
Amplificarea pe orizontală
Negativarea pe orizontală
Comutator
Timpul de analiză 2÷18s
Cordul oscilatorului al doilea
Regleta ШР-28
Circuitul
Nr
~Rețea 1
~Rețea 2
~220V 3
~220V 4
Masă 5
Masă 6
Masă 7
Masă 8
~6,3V 9
~6,3V 10
~6,3V 11
~6,3V 12
Blocare
Regleta Шр-32П
Circuitul
Nr
+450V 1
+250V 2
-80V 3
+300V 4
+6,3V 5
-6,3V 8
Tr
Lampă de control
Luminozitate
Focalizare


Modul de funcționare [1-control ; 2-analizor de spectru ; 3-ИЧХ]
Comutator
Comutator
Comutator
6А7
6Ж4
6Ж8
6Ж4
6Ж4
6Н8С
6Н8С
6Х6О
6Н8С
13Л036
A3
3-5 kHz; 4-20 kHz)
Amplificarea pe verticală
Negativarea pe verticală
Amplificarea pe orizontală
Negativarea pe orizontală
Timpul de analiză 2÷18s
Luminozitate
Focalizare
ТГ-0,1/0,3
ieșire

Fotografierea oscilogramelor se face cu un aparat fotografic „Zorki", care se montează pe un adaptor special.

Pentru măsurarea și analizarea spectrelor de frecvențe în gama cuprinsă între 7,5 și 290 kHz, în aparatul ИЗД-Г poate fi folosit și un analizor de tip СУЧ. El este destinat analizei spectrului unor oscilații electrice în gama de frecvențe de la 7 240 pînă la 292 000 Hz și permite să se evalueze amplitudinea și frecvența fiecăreia dintre oscilațiile sinusoidale care fac parte din structura semnalului complex studiat.

Gama de frecvențe a spectrometrului este împărțită în 16 benzi cu ajutorul unor filtre. Banda de trecere a fiecărui filtru se deosebește de benzile calculate ale filtrelor cu cel mult $\pm$ 1/30 dintr-o octavă (drept bandă de trecere a unui filtru se consideră banda de frecvențe limitată de punctele unde caracteristica de frecvență a filtrului considerat se intersectează cu caracteristicile filtrelor adiacente).

Spectrograma oscilațiilor electrice analizate este adusă în stare de imobilitate pe ecranul tubului catodic și se repetă de cel puțin 16 ori pe secundă.

Precizia de determinare a nivelului pe ecranul tubului catodic, pentru frecvențele care diferă de frecvențele centrale ale filtrelor și de frecvența nivelului mijlociu, este cuprinsă între limitele $\pm$ 2 dB pentru orice porțiune a scării. În regim staționar al oscilațiilor electrice măsurate, citirea indicațiilor spectrometrului se face după o lege pătratică. Sensibilitatea spectrometrului, pentru o tensiune sinusoidală cu frecvența corespunzătoare frecvenței centrale a fiecărui filtru, este egală cu —15 (drept nivel de 0 dB se ia valoarea 0,775 V). Se consideră că spotul deviază pe întreaga înălțime de lucru a ecranului. În spectrometru a fost prevăzută etalonarea sensibilității pe frecvența de 8 000 Hz folosind un filtru cu bandă de trecere adecvată. Scara de pe ecranul spectrometrului este etalonată în decibeli, cu intervale de cîte 5 dB, și o gamă dinamică de 30 dB. În spectrometru s-a prevăzut posibilitatea micșorării cu 50 dB a sensibilității, cu ajutorul unui comutator în trepte de cîte 10 $\pm$ 0,2 dB. În plus, există un potențiometru cu ajutorul căruia se stabilește fin nivelul de zero al spectrometrului între limitele a 10 dB, fără a mări sensibilitatea spectrometrului. Componenta rezistivă a impedanței de intrare a spectrometrului este de cel puțin 1,4 MΩ, iar capacitatea de intrare este de cel mult 150 pF.

Gama dinamică a dispozitivului de intrare (40 dB) este mai mare decît gama dinamică a filtrelor (30 dB). Pe cea mai joasă frecvență timpul de „cădere" al spectrogramei de pe ecranul spectrometrului, de la 30 pînă la 0 dB, este de cel mult 1,5 s. Adaptorul fotografic care face parte din alcătuirea spectrometrului permite fotografierea spectrogramei sub forma unor cadre singulare, precum și fotografierea continuă cu o viteză de 60 $\pm$ 5 cadre pe minut. În spectrometru s-a prevăzut un divizor de tensiune cuplat cu comutatorul care stabilește sensibilitatea la intrare. Tensiunea etalonată a divizorului se aplică unui comutator pentru ca pe ecranul tubului catodic să se obțină un reper al poziției comutatorului de sensibilitate.

Spectrograma fotografică și developată pe hîrtia fotografică conține — în afară de spectrul de frecvențe — și o scară cu notații cifrice, cu numărul cadrului și cu repere suplimentare care localizează poziția comutatorului de sensibili-

Scanned with OKEN Scanner

tate. Ieşirea oricărui filtru printr-un repetor catodic permite conectarea unei sarcini de 1,0 KΩ fără ca etalonarea spectrometrului să fie afectată. Alimentarea spectrometrului se face de la o reţea de curent alternativ cu tensiunea de 220 V şi frecvenţa de 50 ± 3 Hz, cu variaţii admisibile ale tensiunii de la 5% pînă la —10%. În aceste condiţii, valoarea componentelor spectrului de pe ecranul tubului catodic variază cu cel mult ± 1 dB. Puterea absorbită de spectrometru nu depăşeşte 250 VA.

Principiul de funcţionare al spectrometrului СУЧ este mai uşor de studiat folosind schema-bloc a aparatului (fig. 2.21). Oscilaţiile electrice care urmează a fi analizate se aplică la intrarea amplificatorului de bandă largă *ABL* prin intermediul regulatorului de amplificare *RA* (care lărgeşte gama dinamică a aparatului prin micşorarea sensibilităţii de la intrarea spectrometrului în trepte

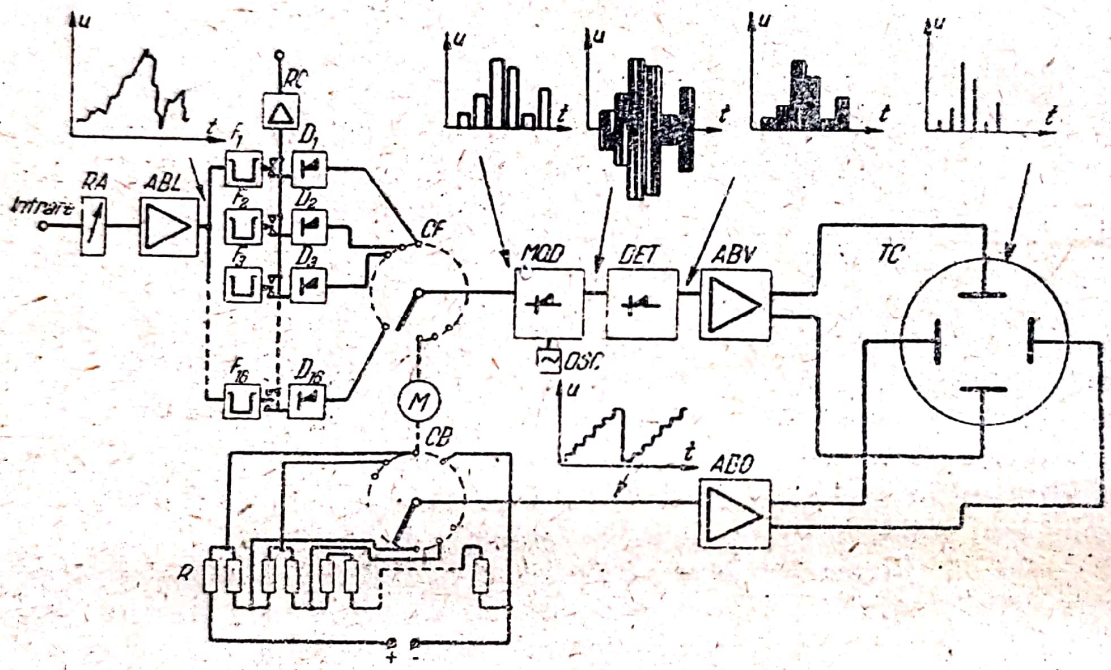


Fig. 2.21. Schema-bloc a aparatului СЧ4

de cîte 10 dB). După amplificare, oscilaţiile electrice supuse analizei se aplică la o serie de filtre de bandă legate în paralel (F_1—F_{16}). Prin contactul unui întrerupător corespunzător, ieşirea fiecărui filtru este conectată la un detector. Valoarea tensiunii continue de la ieşirea fiecărui detector este proporţională cu valoarea medie pătratică a tensiunii alternative din banda respectivă. Aceste tensiuni continue sînt preluate de contactul alunecător al comutatorului *CF* şi ajung în lanţul comun sub forma unor impulsuri de amplitudini corespunzătoare, separate în timp.

În modulatorul *MOD* impulsurile de tensiune continuă modulează un semnal de înaltă frecvenţă (8 000 Hz) primit de la oscilatorul *OSC*. Semnalele modulate trec prin detectorul *DET* şi, după ce sînt amplificate de amplificatorul de baleiaj pe verticală *ABV*, ajung la plăcile de deflecţie pe verticală ale tubului catodic *TC*, pe ecranul căruia apar linii verticale clar delimitate, fiecare dintre aceste linii corespunzînd unui anumit filtru. Concomitent cu

semnalul care sosește la plăcile verticale, se aplică tensiunea de baleiaj la plăcile orizontale ale tubului catodic. Pentru obținerea unei spectrograme imobile pe ecranul aparatului, baleiajul orizontal este sincronizat riguros cu tensiunile aplicate plăcilor de deflecție pe verticală ale tubului. Sincronizarea riguroasă se obține prin comutarea simultană a contactelor celor două comutatoare mecanice *CF* și *CB*. Tensiunea de baleiaj orizontal se aplică plăcilor de deflecție pe orizontală ale tubului prin intermediul amplificatorului *ABO*.

Prin urmare, poziția spectrogramei fiecărui filtru pe ecranul aparatului este fixă; în plus, ea nu depinde de viteza de rotație a comutatorului. Ieșirea fiecărui filtru, în curent alternativ, adică înainte de detecție, poate fi conectată cu ajutorul unui comutator individual, prin repetorul catodic comun *RC*, la contactele de ieșire ale spectrometrului.

Din punct de vedere constructiv, spectrometrul are forma unui rac cu înălțimea de 1 723 mm, lățimea de 545 mm și adîncimea de 1 500 mm (adîncimea fără consolă și fără adaptorul fotografic este de 512 mm). Greutatea este de 186 kg. Toate elementele spectrometrului sînt amplasate în blocuri tip.

Din componența spectrometrului de frecvențe ultrasonore face parte un adaptor fotografic care servește la fotografierea spectrogramelor. Totodată, adaptorul fotografic permite atît fotografierea cadru cu cadru, cît și fotografierea continuă cu o viteză de un cadru pe secundă. Durata fotografierii continue, fără schimbarea casetei, este de 20—25 min. Fotografierea se face pe peliculă cinematografică (16 mm). În timpul fotografierii pe peliculă, în afară de spectrogramă se înregistrează și numărul cadrului și marcajul referitor la poziția comutatorului cu trepte pentru sensibilitate. Construcția adaptorului fotografic permite observarea spectrogramei în timpul fotografierii printr-o ferăstruică specială.

Comanda funcționării adaptorului fotografic se poate face local și de la distanță.

b) Aparate de măsurat intensitatea în care se folosesc traductoare-receptoare sensibile la variații de temperatură

Pentru măsurarea intensității, în special a sunetelor de frecvențe ultrasonore înalte, se folosesc aparate termoacustice.

Corpurile care absorb energie sonoră se încălzesc, deoarece energia sonoră absorbită se transformă în energie termică. Acest fenomen poate fi utilizat și pentru detectarea ultrasunetelor și măsurarea intensității lor. În acest scop se folosește de obicei o bilă mică (cu diametrul de 1—2 mm), confecționată dintr-o substanță care absoarbe bine sunetele. Încălzirea bilei în cîmpul sonor va fi condiționată de intensitatea cîmpului în punctul respectiv: cu cît intensitatea este mai mare, cu atît bila se încălzește mai mult. Deși o parte din căldură se va pierde prin încălzirea lichidului care înconjoară bila, totuși — după o perioadă de timp oarecare (practic cîteva secunde) — se stabilește echilibrul termic și bila se încălzește pînă la o temperatură bine determinată. Această temperatură poate fi măsurată cu ajutorul unui termocuplu miniatură,

introdus în bilă. Avantajele acestei metode de măsurare constau în simplitatea ei şi dimensiunile mici ale sondei, fapt care permite să se obţină foarte amănunţit imaginea cîmpurilor complexe. Inconvenientele metodei sînt: sensibilitatea relativ mică şi dependenţa ei de frecvenţă.

Dacă într-un cîmp ultrasonor se aşază o sîrmă şi se încălzeşte această sîrmă cu ajutorul curentului electric, rezistenţa ei va varia proporţional cu intensitatea ultrasunetelor, deoarece în mediul aflat în stare de vibraţie apar curenţi care coboară temperatura sîrmei. În mod obişnuit, se foloseşte în acest scop un fir de platină foarte subţire (cu grosimea de cîţiva microni) conectat în unul dintre braţele unei punţi Wheatstone.

Măsurarea energiei ultrasunetelor poate fi efectuată şi prin determinarea creşterii temperaturii mediului prin care se propagă ultrasunetele. În cazul acestui procedeu, este important să se menţină constante frecvenţa şi amplitudinea vibraţiilor. Conform uneia dintre variantele acestui procedeu, într-un vas calorimetric de sticlă (cu pereţii argintaţi şi prevăzuţi cu o termoizolaţie îngrijită) se introduc 200 cm^3 de apă distilată la temperatura camerei (18°C). După aceea se introduce vasul în instalaţia cu ultrasunete şi se supune acţiunii ultrasunetelor în aceleaşi condiţii, în care — ulterior — vor avea loc toate cercetările. Timpul de acţiune a ultrasunetelor este de obicei ales egal cu 5 şi 10 min. Temperatura iniţială şi cea finală din interiorul vasului calorimetric se măsoară cu un termometru Beckmann.

Intensitatea ultrasunetelor se calculează cu formula

$$I = \frac{C_m \Delta T}{t \cdot 0{,}24 S},$$

în care: I este intensitatea ultrasunetelor, W/cm^2;
C — căldura specifică a apei, cal/g·grad;
m — masa apei, g;
ΔT — căderea de temperatură, °C;
t — timpul de acţiune a ultrasunetelor, s;
0,24 — echivalentul în căldură al lucrului mecanic, cal/joule;
S — suprafaţa radiantă, cm^2.

Un alt aparat de acest fel, şi anume tipul ИИ-Т, este arătat în fig. 2.22.

Vasul Dewar de sticlă *1* se umple cu lichid care posedă un coeficient mare de absorbţie la o viscozitate relativ mică (ulei de măsline prelucrat în mod special). Vasul este acoperit cu un capac de sticlă 3 în care există ferestruica de sticlă subţire *4*. Prin această ferestruică undele ultrasonore pătrund în interiorul vasului şi sînt absorbite de lichidul de lucru. Ferestruica lasă să treacă foarte bine energia ultrasonoară înspre interiorul vasului, dar în acelaşi timp ea este suficient de rigidă pentru a nu provoca variaţii ale volumului cavităţii interioare a vasului.

Pentru a se elimina reflectarea ultrasunetelor de fundul vasului, acesta este confecţionat sub forma unui corn, al cărui vîrf este umplut cu vata de sticlă 5. Diafragma conică *6* are rolul de a evita reflectarea directă a undelor

ultrasonore de către pereții frontali ai vasului Dewar și de a separa un fascicul de diametrul dorit. În exterior diafragma poate fi acoperită cu stratul de material absorbant 7. Aparatul se fixează pe bara 8, cuplată cu un dispozitiv de punere la punct.

Vibrațiile ultrasonore, care au pătruns în interiorul vasului și au fost absorbite de lichidul de lucru, provoacă dilatarea termică a acestuia. Măsurarea intensității se reduce la măsurarea vitezei de ridicare a lichidului prin tubul capilar de sticlă gradat 9, montat în ștuțul conic șlefuit 10. Folosirea unui ștuț șlefuit permite introducerea unui tub capilar de diametru diferit, modificîndu-se în felul acesta sensibilitatea aparatului, ceea ce dă posibilitatea efectuării unor măsurări de intensitate între limitele 0,5 și 30 W/cm^2.

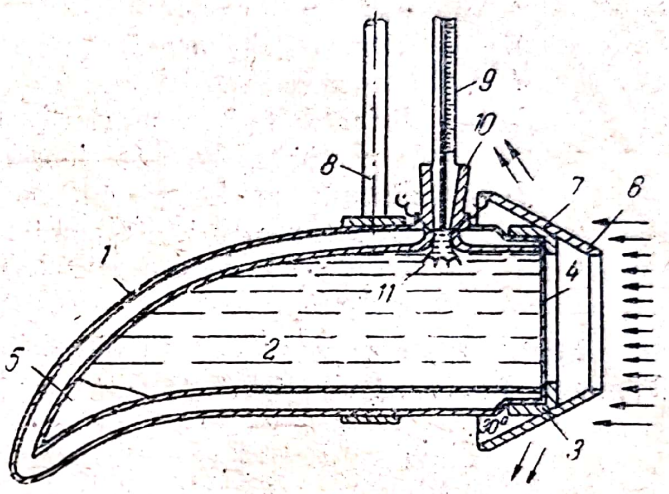


Fig. 2.22. Aparatul ИИ-Т pentru măsurarea intensității sonore.

Pentru etalonarea aparatului, în interiorul vasului a fost lipită spirala de încălzire 11. Dacă pentru o putere electrică P [W] viteza de urcare a lichidului în tubul capilar este V, acestei viteze de urcare a lichidului îi va corespunde cînd vasul este iradiat cu ultrasunete o intensitate a sunetului $I = P/S \pm \Delta$ [W/cm^2], unde S este suprafața ferestrei de intrare a aparatului, iar Δ este corecția necesară din cauza reflectării sunetelor de către ferăstruică. Coeficientul de reflexie se determină experimental pentru fiecare aparat.

c) Aparate de măsurat intensitatea, bazate pe dispozitive care transformă presiunea sonoră în mișcări liniare sau de rotație ale elementului de măsurare

Amplitudinea vibrațiilor generate de un vibrator tubular magnetostrictiv poate fi determinată prin intermediul presiunii unui lichid, măsurată cu ajutorul unei pîlnii și al unui tub manometric. Pîlnia se montează pe axa tubului vibratorului, la o anumită distanță de acesta. Tubul manometric este etalonat prin măsurarea amplitudinii vibrațiilor cu ajutorul unui microscop. Această etalonare se face în modul următor.

Pe suprafața exterioară curățată și lustruită a tubului vibratorului, la o distanță de 10—20 mm de capătul tubului, se lipește cu clei un fir metalic avînd grosimea de 0,02—0,03 mm și se luminează puternic acest loc. În fața vibratorului se așază un microscop de măsurare cu precizia de citire de 2—2,5 μ, cu ajutorul căruia se măsoară grosimea firului; după punerea în funcțiune a vibratorului se măsoară lățimea fișiei pe care o ocupă firul în stare de vibrație, pentru mai multe înălțimi ale coloanei de lichid din tubul manometric.

Amplitudinea vibraţiilor se calculează cu formula

$$A = \frac{B - b}{2} \cdot \frac{\sin 90^\circ \frac{l_2}{l_1}}{\sin 90^\circ \frac{l_f}{l_1}}$$

în care: A este amplitudinea vibraţiilor;
B — lăţimea fîşiei ocupate de firul în stare de vibraţie;
b — grosimea firului;
l_1 — distanţa de la punctul de fixare al tubului vibratorului pînă la porţiunea lui superioară (liberă);
l_2 — distanţa de la punctul de fixare al tubului vibratorului pînă la porţiunea lui inferioară;
l_f — distanţa de la punctul de fixare al tubului vibratorului pînă la fir.

Pentru măsurarea intensităţii ultrasunetelor se folosesc de multe ori radiometre. Radiometrul (fig. 2.23) este constituit dintr-o balanţă de torsiune extrem de sensibilă, construită în felul următor: la capătul unui fir extrem de subţire *1* se lipeşte sîrma 2. Într-o parte a ei se găseşte aripioara uşoară de mică 3. Firul este întins vertical. Undele sonore sau ultrasonore care ajung la aripioară provoacă o anumită presiune; aripioara va devia din poziţia ei şi firul se va torsiona uşor. Cu cît sunetele sînt mai intense, cu atît presiunea este mai mare şi cu atît aripioara va devia mai mult.

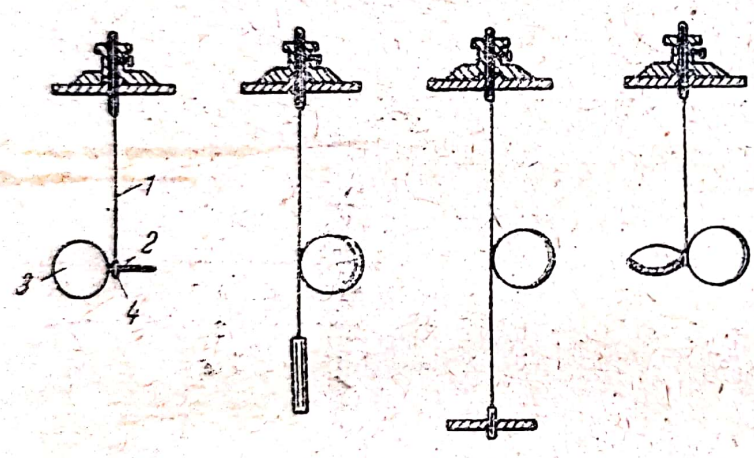


Fig. 2.23. Radiometre de diverse tipuri.

Pentru a se urmări rotirea aripioarei, pe fir se fixează — în locul de lipire a sîrmei — o oglinjoară *4*. Dacă raza de lumină incidentă este proiectată, cu ajutorul oglinjoarei, sub forma unui spot luminos, acesta se va deplasa simţitor chiar în cazul celor mai neînsemnate rotiri ale aripioarei. La apariţia unei deplasări a spotului luminos se poate descoperi existenţa sunetelor, iar în funcţie de mărimea deplasării se poate determina intensitatea lor. Pentru a proteja radiometrul împotriva influenţei diverşilor curenţi care există întotdeauna în aer, acesta este amplasat de obicei într-o cameră specială.

Pentru măsurarea amplitudinii vibraţiilor produse de vibratoarele magnetostrictive a fost realizat în ultimul timp aparatul УБВ-2 (de către A. V. Vitkovski). Acest aparat se bazează pe următorul principiu de măsurare.

În cazul cînd bobina traductorului de deplasare este amplasată suficient de aproape de suprafaţa metalică care vibrează, inductanţa bobinei va depinde de permeabilitatea magnetică a spaţiului dintre bobină şi suprafaţa metalului (a cărui grosime este egală cu adîncimea de pătrundere a curentu-

lui). Cînd se măsoară distanța dintre bobină și obiectul care vibrează, se va modifica conductanța magnetică a acestui spațiu, prin urmare și inductanța bobinei traductorului.

Transformarea — prin metode radiotehnice — a variațiilor de inductanță în variații ale curentului sau tensiunii care acționează asupra indicatorului nu prezintă dificultăți deosebite.

Soluția cea mai comodă este de a transforma variația inductanței în variația frecvenței unor oscilații electrice. Acest lucru se poate realiza folosind bobina traductorului de vibrații drept inductanță a circuitului acordat al unui oscilator. În fig. 2.24 este arătată schema-bloc a vibrometrului. Traductorul, care constituie inductanța circuitului acordat, introduce o inductanță variabilă în circuitul acordat al oscilatorului și prin aceasta provoacă variația frecvenței instantanee a acestuia în ritmul deplasărilor instantanee ale suprafeței vibrante. Așadar, tensiunea de la ieșirea oscilatorului va fi modulată în frecvență. Această tensiunea ajunge la un limitator de amplitudine. Rolul limitatorului este de a elimina modulația de amplitudine parazitară a semnalelor care trec prin el.

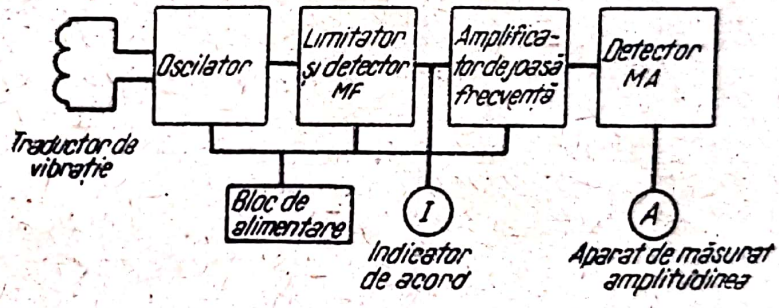


Fig. 2.24. Schema-bloc a aparatului УББ-2.

Următoarea parte a vibratorului este un etaj discriminator. La intrarea acestuia se aplică o tensiune de amplitudine constantă și modulată în frecvență, iar de la ieșire se ia o tensiune care variază ca amplitudine în concordanță cu variațiile frecvenței oscilațiilor generate de oscilator, adică în concordanță cu amplitudinea deplasării obiectului care vibrează. Dacă frecvența centrală a oscilatorului va varia din cauza variației distanței dintre traductorul de vibrații și suprafața care vibrează, iar detectorul își va menține acordul, în tensiunea de ieșire a acestuia va apărea o componentă continuă. Valoarea acestei componente continue depinde de variația distanței, iar semnul ei — de sensul în care variază această distanță. Această tensiune se aplică unui aparat cu ac indicator, care indică variația distanței dintre traductorul de vibrații și obiectul supus măsurării. Tensiunea alternativă trece printr-un amplificator, care o amplifică pînă la nivelul necesar. Tensiunea amlificată este aplicată apoi unui detector de amplitudine, care o redresează. Tensiunea redresată, proporțională cu amplitudinea vibrațiilor, se aplică la rîndul ei unui aparat electric de măsurat, a cărui scară este gradată în microni de amplitudine a mișcării de vibrație.

Oscilatorul aparatului este realizat corform montajului în trei puncte, cu cuplaj capacitiv, folosind dubla triodă 6Н3П. O jumătate a triodei este utilizată drept oscilator, iar cealaltă jumătate constituie un repetor catodic legat la limitator printr-un cablu РК-49. Utilizarea unei asemenea construcții a permis să se elimine în întregime influența variației capacității cablului. Limitatorul este realizat conform unei scheme de limitarea combinației, —

grilă — anod, cu un tub 6Ж9П. În circuitul anodic al tubului limitator se găseşte circuitul acordat al unui discriminator de fază. Se foloseşte discriminatorul de fază din cauză că acordul lui este mai puţin critic decît acordul discriminatorului de raport. Drept elemente redresoare au fost folosite diode de tip 6Х2П.

Pentru măsurarea componentei continue de la ieşirea discriminatorului se foloseşte un microampermetru de tip M24 cu scara de 0—50 μA (clasa 1,5). Tensiunea alternativă de la ieşirea discriminatorului se aplică unui amplificator de audiofrecvenţă. Amplificatorul are 3 etaje. Reacţia negativă puternică care cuprinde toate cele 3 etaje îmbunătăţeşte caracteristicile de frecvenţă şi de amplitudine şi măreşte stabilitatea amplificării. Amplificatorul a fost realizat cu triode de tipurile 6Н2 П şi 6Н1 П.

Detectorul de amplitudine este realizat, conform montajului de dublare a tensiunii, cu diode de germaniu Д2Г. Drept aparat indicator s-a folosit un microampermetru M24 cu scara de 0—100 μA (clasa 1,0). Tensiunea care urmează a fi aplicată aparatelor de măsurat exterioare se ia de la repetorul catodic. Pentru stabilizarea tensiunii anodice s-a folosit un stabilizator electronic. Tensiunea de încălzire a tuburilor oscilatorului şi amplificatorului de audiofrecvenţă este stabilizată cu ajutorul unui baretor.

Elementul sensibil al traductorului de vibraţii se compune dintr-un bobinaj înfăşurat pe o carcasă ceramică cu diametrul de 3,8 mm. Pasul de bobinaj este de 1 mm, iar numărul de spire este egal cu 8. Ermetizarea bobinei se obţine cu ajutorul unui căpăcel de protecţie confecţionat din fluoroplast. Carcasa traductorului de vibraţii este fabricată din oţel inoxidabil, ceea ce permite măsurarea vibraţiilor în medii agresive.

Caracteristica de frecvenţă a vibrometrului este liniară între limitele 10—50 kHz.

d) Metode de determinare a intensităţii prin calcul

În unele cazuri, mai ales pentru vibratoarele confecţionate din cuarţ, se poate face o apreciere orientativă o intensităţii ultrasunetelor în lichide, cu ajutorul următoarei formule empirice

$$I = \frac{1{,}44 \cdot 10^{-13} f^2 U^2}{\rho_0 C_0},$$

în care: I este intensitatea ultrasunetelor, W/cm²;
f — frecvenţa, Hz;
U — tensiunea de înaltă frecvenţă, V;
ρ_0 — densitatea, g/cm³;
C_0 — viteza de propagare a ultrasunetelor, cm/s.

Pentru apă se poate obţine o formulă de calcul simplificată, care are forma

$$I \approx f^2 U^2 \ [\text{w/cm}^2],$$

unde: f este frecvenţa, MHz;
U — tensiunea de înaltă frecvenţă, kV.

Scanned with OKEN Scanner

EXEMPLE DE CALCUL

Calculul presiunii sonore măsurate cu un aparat ИЗД-М în cazul funcționării neîntrerupte a vibratorului

Cu ajutorul unui voltmetru s-a determinat valoarea tensiunii date de sondă, ca rezultat al acțiunii asupra acesteia a unor vibrații elastice sinusoidale. Valoarea efectivă a presiunii sonore în vasul de lucru care conține lichid în punctul unde este amplasată sonda se găsește cu formula

$$P = \frac{\frac{U}{k} \cdot 10^3}{a} \text{ [bari]},$$

în care: U este indicația voltmetrului electronic, mV;
k — amplificarea dată de amplificator;
a — sensibilitatea sondei, μV/bar;

Să admitem că măsurarea a fost efectuată fără amplificator ($K = 1$) și voltmetrul electronic a indicat o tensiune $U = 360$ mV, iar constanta sondei este $a = 0{,}12$ μV/bar; în acest caz valoarea presiunii efective, în punctul în care a fost amplasată sonda, va fi egală cu $3 \cdot 10^6$ bari.

Pentru transformarea în atmosfere a rezultatelor măsurării presiunii este necesar ca rezultatele calculului, obținute în bari, să fie împărțite cu 981 000. Atunci

$$p = \frac{3\,000\,000}{981\,000} \approx 3 \text{ at.}$$

În cazul vibratorului care asigură obținerea unor unde plane, în funcție de valoarea presiunii sonore efective p (în bari) se poate calcula intensitatea ultrasunetelor cu formula

$$I = \frac{p^2}{\rho C \cdot 10^7},$$

în care ρC este impedanța caracteristică a mediului (pentru apă $\rho C = 1{,}5 \cdot 10^5$ g·cm^{-2}s^{-1}). Atunci, pentru măsurarea menționată mai sus intensitatea ultrasunetelor va avea valoarea

$$I = \frac{3\,000\,000^2}{1{,}5 \cdot 10^5 \cdot 10^7} = 5{,}6 \text{ w/cm}^2$$

În toate celelalte cazuri (cîmpuri cu unde sferice) ne limităm la valorile obținute pentru presiunea sonoră.

Calculul presiunii sonore măsurate cu un aparat ИЗД-М în cazul funcționării vibratorului în regim de impulsuri

Dacă se determină valoarea presiunii sonore atunci cînd vibratorul funcționează în regim de impulsuri, valoarea tensiunii U_T care se aplică de la sondă la voltmetru va caracteriza numai presiunea medie în timpul perioadei de repetiție a impulsurilor. Valoarea impulsurilor de tensiune se va determina din relația

$$U_\tau = U_T \frac{T}{\tau},$$

în care: T este perioada de repetiție a impulsurilor, s;
τ — durata impulsului, s.

Înlocuind valoarea lui U_τ (în milivolți) în formula de mai sus, vom obține

$$p = \frac{U_T \, T/\tau \cdot 10^3}{k_a} \text{ [bari]}.$$

Din această formulă reiese că pentru a se determina presiunea sonoră medie este necesar să se cunoască valorile lui T şi τ.

Dacă, de pildă, voltmetrul electronic a indicat că la bornele sondei a apărut o tensiune $U = 480$ mV, amplificarea dată de amplificator este $K = 200$, constanta sondei este $a = 0{,}12$ μV/bar, perioada de repetiţie a impulsurilor este $T = 2 \cdot 10^{-2}$ s, iar durata fiecărui impuls este $\tau = 10^{-3}$ s, înlocuind aceste valori în formulă vom obţine presiunea sonoră în impuls

$$p = \frac{480 \cdot 2 \cdot 10^{-2} \cdot 1\,000}{10^{-3} \cdot 200 \cdot 0{,}12} = 400\,000 \text{ bari} \approx 0{,}4 \text{ at.}$$

Calculul frecvenţelor şi amplitudinilor componentelor spectrale ale unei oscilaţii complexe, măsurate cu un aparat ИЗД-Г

Pe ecranul tubului catodic se determină armonica fundamentală (a cărei valoare de vîrf este cea mai mare) şi componentele ei, amplasate în dreapta. După aceea, pe reţeaua gradată se determină înălţimea componentelor şi distanţa (în milimetri) faţă de impulsul iniţial. Cu ajutorul formulelor se determină valoarea frecvenţelor componentelor armonice şi valorile relative ale amplitudinilor lor

$$f_x = \frac{M_x}{MN} D; \; A_x = \frac{nB}{nA} A,$$

în care: f_x este frecvenţa armonicei aflate la distanţa x [mm] faţă de impulsul de control, Hz;

M_N — lungimea liniei de baleiaj, mm;

M_x — distanţa de la impulsul de control pînă la punctul x, mm;

D — lungimea subgamei (pentru prima subgamă 480, pentru a doua 1 940, pentru a treia 4 900, iar pentru a patra 19 600 Hz);

A_x — amplitudinea armonicei aflate la distanţa x [mm] faţă de impulsul de control în raport cu armonica fundamentală A, adoptată drept unitate, V;

nB — amplitudinea armonicei căutate, mm;

nA — amplitudinea armonicei fundamentale, mm.

Să presupunem că spectrul oscilaţiei studiate are următoarele date. Analiza a fost efectuată în cea de-a treia subgamă (100—5 000 Hz). Lungimea liniei de baleiaj este de 100 mm. Distanţa pe linia de baleiaj pînă la prima componentă armonică este de 24 mm, iar pînă la cea de-a doua — de 72 mm. Constanta a a sondei folosite pentru măsurare este egală cu 0,3 μV/bar. Amplificarea dată de amplificator este $K = 3\,500$.

Folosînd formula dată mai sus, determinăm frecvenţele componentelor armonice (în punctul A şi în punctul B ale liniei de baleiaj):

$$f_A = \frac{MA}{MN} D = \frac{24}{100} \cdot 4\,900 = 1\,176 \text{ Hz};$$

$$f_B = \frac{MB}{MN} D = \frac{72}{100} \cdot 4\,900 = 3\,528 \text{ Hz}.$$

Pentru determinarea valorilor tensiunilor componentelor spectrale ale semnalului studiat se etalonează scara amplitudinilor. Pentru etalonarea acestei scări este necesar un oscilator de audiofrecvenţă ЗГ—10 şi un voltmetru electronic МВЛ—2М. Etalonarea se face în modul următor.

Lăsînd viteza de analiză să fie identică cu cea de la observarea spectrogramei semnalului studiat, se variază frecvenţa oscilatorului de audiofrecvenţă ЗГ—10 şi se stabileşte linia spectrală produsă de tensiunea oscilatorului la mijlocul scării respective de frecvenţe. Apoi, variind tensiunea oscilatorului de audiofrecvenţă, se stabileşte pe reţeaua gradată o înălţime de 80 mm a liniei spectrale. Valoarea absolută a tensiunii se determină cu ajutorul voltmetrului electronic.

Scanned with OKEN Scanner

Să presupunem că această valoare este egală cu 20 V. După aceea se determină sensibilitatea analizorului pentru o deviație de 1 mm a spotului electronic (V/mm). Cunoscînd sensibilitatea analizorului și înălțimea de deviație a spotului electronic, în milimetri, se determină valoarea absolută a tensiunii armonicelor:

$$U_A = \frac{20}{80} \cdot 18 = 4{,}5 \text{ V};$$

$$U_B = \frac{20}{80} \cdot 50 = 12{,}5 \text{ V}$$

Înlocuind aceste valori pe rînd în formulă, vom obține valoarea absolută a presiunii componentelor armonice (în bari):

$$p_A = \frac{U/K \; 1\,000}{a} = \frac{12\,500/3\,500 \cdot 1\,000}{0{,}3} = 11\,900 \text{ bari};$$

$$p_B = \frac{U/K \cdot 1\,000}{a} = \frac{4\,500/3\,500 \cdot 1\,000}{0{,}3} = 4\,300 \text{ bari}.$$

PARTEA A DOUA

Metode şi aparatură pentru obţinerea vibraţiilor elastice

CAPITOLUL 3

VIBRATOARE

După cum s-a arătat mai sus, traductoarele electromecanice cuprind vibratoare electromagnetice, electrodinamice, magnetostrictive şi piezoelectrice.

În paragrafele următoare se prezintă descrierea, caracteristicile tehnice şi bazele calculului acestor tipuri de vibratoare care au căpătat aplicaţii în industrie.

3.1. VIBRATOARE ELECTROMAGNETICE

a) Principii fundamentale

Principiul de funcţionare al traductoarelor electromagnetice se bazează pe obţinerea unor vibraţii ale unui sistem mecanic mobil, sub acţiunea unui electromagnet excitat de un curent alternativ. Puterea de ieşire a vibratoarelor electromagnetice scade o dată cu creşterea frecvenţei; de aceea, în cazul unor frecvenţe mai mari decît 1—2 kHz, ele sînt rar folosite. De cele mai multe ori ele sînt utilizate pe frecvenţe joase, de pildă 50—200 Hz.

Vibratoarele electromagnetice pot fi de două feluri: cele care funcţionează fără dublarea frecvenţei şi cele cu dublare a frecvenţei. În vibratoarele care funcţionează fără dublarea frecvenţei, cîmpul magnetic alternativ se suprapune peste un cîmp magnetic continuu.

La vibratoarele funcţionînd cu dublare a frecvenţei nu există un cîmp magnetic continuu şi forţa de atracţie a electromagnetului are o valoare maximă în timpul fiecărei semiperioade, adică frecvenţa se dublează în comparaţie cu frecvenţa fundamentală a curentului de alimentare.

O particularitate a funcţionării vibratoarelor în gama de frecvenţe 50—200 Hz constă în faptul că suprafaţa lor de radiaţie este incomparabil mai mică decît lungimea de undă a vibraţiilor elastice emise. Astfel, de pildă, dacă se lucrează pe frecvenţa de 50 Hz, lungimea de undă în apă va avea valoarea

$$\lambda = \frac{C}{f} = \frac{1{,}5 \cdot 10^3}{50} = 30 \text{ m.}$$

Deoarece se obţin unde dirijate numai atunci cînd dimensiunile suprafeţei radiante sînt mai mari decît lungimea de undă, vibratoarele care funcţionează într-o gamă de frecvenţe joase nu emit unde dirijate, ci unde sferice.

Scanned with OKEN Scanner

Particularităţile funcţionării vibratorului atunci cînd el emite unde sferice constau în faptul că la distanţe mai mici decît lungimea de undă mediul se comportă ca o reacţanţă. Pe cînd rezistenţa mediului provoacă transformarea unei părţi din energia mecanică a sursei de unde sonore în energie sonoră radiată de aceasta, reactanţa nu provoacă emiterea unei energii sonore, ci condiţionează trecerea periodică a energiei din sursă în mediu şi invers. Existenţa reactanţei poate fi imaginată ca fiind rezultatul adaugării unei mase oarecare, care „cooscilează". Această masă parcă se adaugă la masa vibratorului provocînd „îngreuierea" lui.

În acest fel, reactanţa unui mediu poate fi încadrată în categoria impedanţelor mecanice inerţiale. O altă particularitate a funcţionării vibratoarelor cu unde sferice constă în faptul că, în funcţie de distanţele de la vibrator, frontul undei sferice se măreşte mereu.

Dacă se ţine seama de toate particularităţile arătate mai sus, intensitatea vibraţiilor elastice produse de vibratoarele electromagnetice poate fi calculată cu următoarea formulă

$$I = 2\rho C \left(\frac{\pi f A}{r}\right)^2 \sqrt{\frac{1}{\left(2\pi \frac{r}{\lambda}\right)^2} + 1},$$

în care: ρ este densitatea mediului;
C — viteza sunetului în mediul respectiv;
f — frecvenţa vibraţiilor;
r — distanţa faţă de vibrator;
A — amplitudinea vibraţiilor.

Dacă se face calculul cu această formulă, se va constata că pentru obţinerea unor intensităţi similare cu intensităţile obţinute atunci cînd traductoarele funcţionează în gama de frecvenţe ultrasonore este necesar ca vibraţiile să aibă o amplitudine mare. În prezent, vibratoarele electromagnetice şi electrodinamice fabricate de industrie permit să se obţină amplitudini ale vibraţiilor de la cîţiva milimetri pînă la zeci de milimetri.

Prin execuţia lor constructivă, vibratoarele electromagnetice pot fi de două feluri: cu membrană elastică, fixată pe margine şi cu armătură suspendată liber. Ambele tipuri de vibratoare pot funcţiona atît pe frecvenţa tensiunii de alimentare, cît şi pe o frecvenţă dublă.

Schema unui vibrator electromagnetic cu membrană elastică, fixată pe contur, este arătată în fig. 3.1. Membrana 2 este fixată rigid în vasul *1*. La trecerea curentului alternativ (de la reţea sau de la un oscilator de audiofrecvenţă) prin bobina de excitaţie *4*, în miezul electromagnetului *3* ia naştere un cîmp magnetic alternativ (care se închide prin membrană) de frecvenţa tensiunii de alimentare. Membrana va fi atrasă de polii electromagnetului, cînd valoarea cîmpului magnetic este maximă (sau aproape de această valoare maximă). Cînd valoarea cîmpului magnetic este nulă (sau aproape nulă), membrana se va depărta de electromagnet sub acţiunea forţelor elastice şi

produce în felul acesta vibraţii elastice, care se transmit în mediul care înconjoară membrana.

Schema vibratorului electromagnetic cu armătură suspendată liber este reprezentată în fig. 3. 2. Armătura *1* este suspendată de tija *2*, prevăzută cu resorturile de readucere *3*. La capătul tijei se găseşte plăcuţa radiantă *4*, cufundată în vasul cu lichid. Cînd prin bobina de excitaţie *6* trece un curent

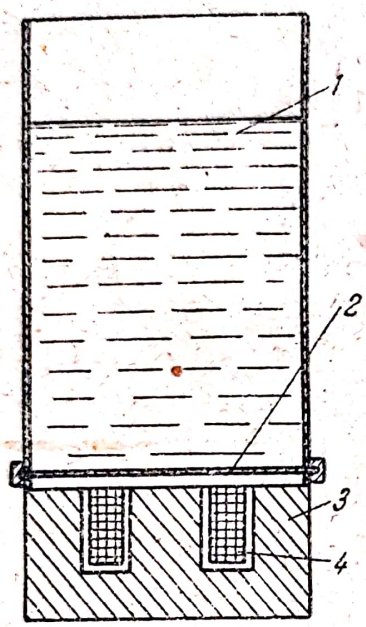


Fig. 3.1. Schema unui vibrator electromagnetic cu membrană elastică fixată pe circumferinţă.

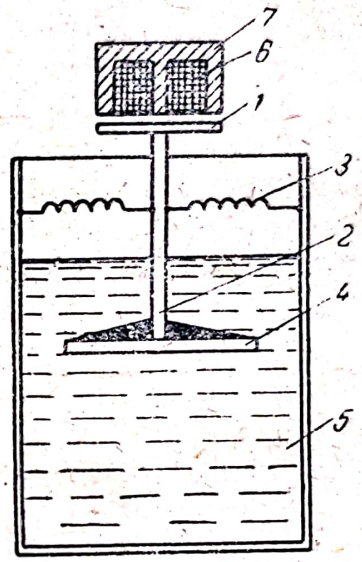


Fig. 3.2. Schema unui vibrator electromagnetic cu armătura suspendată liber.

alternativ, în miezul electromagnetului *7* se creează un cîmp magnetic alternativ. Sub acţiunea acestui cîmp armătura este atrasă de polii miezului electromagnetului. Revenirea armăturii este asigurată de resorturile de readucere 3. Vibraţiile armăturii se transmit, prin tija legată rigid de ea şi prin plăcuţa radiantă, în mediul care înconjoară plăcuţa.

b) Calculul unui sistem mecanic mobil

Sistemul mecanic mobil al vibratoarelor electromagnetice se compune dintr-o armătură cu resort de readucere, sau dintr-o membrană elastică fixată de margine. Atît armătura, cît şi membrana elastică se confecţionează din materiale feromagnetice, deoarece ele constituie o parte componentă a circuitului magnetic prin care se închide fluxul magnetic. În plus, membranele trebuie să posede o mare sensibilitate şi o deformaţie remanentă mică. Resorturile de readucere ale armăturii pot fi plate sau în formă de elice.

Calculul unui sistem mecanic mobil, realizat sub forma unei membrane fixată pe margine. Calculul membranei constă din determinarea razei şi gro-

simii ei. Raza membranei se alege din considerații constructive în funcție de dimensiunile vasului în care se montează membrana. Grosimea plăcuței se determină cu ajutorul cunoscutei relații a lui Rayleigh.

$$f_M = \frac{2{,}96h}{2\pi r^2}\sqrt{\frac{E}{\rho(1-\sigma^2)}},$$

de unde rezultă apoi grosimea plăcuței

$$h = \frac{2\pi f_M r^2}{2{,}96}\sqrt{\frac{\rho(1-\sigma^2)}{E}},$$

în care: r este raza membranei, cm;
h — grosimea membranei, cm;
σ — coeficientul lui Poisson;
ρ — densitatea materialului membranei, g/cm^3;
E — modulul lui Young, dine/cm^2;
f_M — frecvența de rezonanță a membranei.

În cazul cînd vibratorul funcționează cu premagnetizare în curent continuu, frecvența de rezonanță f_M a membranei trebuie să fie egală cu frecvența f_a a tensiunii de alimentare.

În cazul cînd vibratorul funcționează fără premagnetizare în curent continuu, frecvența de rezonanță f_M a membranei trebuie să fie egală cu dublul frecvenței f_a a tensiunii de alimentare, adică $f_M = 2f_a$.

Calculul unui sistem mecanic mobil de forma unei armături suspendate liber cu resorturi de readucere. Asupra unui sistem mecanic mobil avînd forma unei armături suspendate liber cu resorturi de readucere acționează trei forțe: forța de atracție F_1 a electromagnetului; forța F_2 a resortului de readucere; forța F_3 de reacție a lichidului. Prin urmare, forța totală care acționează asupra membranei va fi:

$$F = F_1 + F_2 + F_3.$$

După cum se știe, forța de atracție dezvoltată de un electromagnet alimentat în curent alternativ sinusoidal este dată de următoarea ecuație

$$F_1 = F_0 \sin \omega t,$$

în care: F_1 este forța de atracție a electromagnetului;
F_0 — valoarea maximă a acestei forțe;
$\omega = 4\pi f_a$ — dublul pulsației curentului de alimentare (pentru cazuri fără premagnetizare) și $\omega = 2\pi f_a$ (pentru cazul cu premagnetizare).

Din legile mecanice se știe că forța elastică a resortului de readucere este dată de ecuația

$$F_2 = -cx,$$

în care: F_2 este forţa elastică a resortului, kgf;
c — rigiditatea resortului kgf/cm, egală — conform legii lui Hook — cu raportul dintre sarcina (greutatea) G şi alungirea statică δ_{st} ;

$$c = \frac{G}{\delta_{st}};$$

x — deplasarea sarcinii, cm.

Forţa de reacţie a lichidului este definită ca rezistenţa lichidului la vibraţiile armăturii. În forma generală, această rezistenţă este determinată de expresia (F. Morse: „Oscilaţii şi sunete")

$$Z_r = \frac{F_3}{U_0 e^{-j\omega t}} = \pi r^2 \rho C(\theta - jx_0),$$

de unde rezultă

$$F_3 = Z_r U_0 e^{-j\omega t} = \pi r^2 \rho C\,(\theta - jx_0)\, U_0 e^{-j\omega t},$$

în care: Z_r este impedanţa vibratorului;
F_3 — forţa de reacţie a lichidului asupra vibratorului;
$Ue^{-j\omega t}$ — legea de variaţie a vitezei de deplasare a armăturii;
r — raza armăturii;
ρ — densitatea mediului;
C — viteza sunetului în mediul respectiv;
0 — componenta activă a impedanţei;
x_0 — componenta reactivă a impedanţei.

Dacă în formula dată mai sus se iau drept condiţii la limită frecvenţele de la 50 pînă la 200 Hz, iar raza armăturii este cuprinsă între limitele 5 şi 20 cm, după cîteva transformări simple, amplitudinea forţei de reacţie asupra armăturii poate fi determinată cu expresia:

$$F_3 = 16\,\pi^3 r^3 \rho\, A f^2 \sqrt{\frac{f^2}{C^2} r^2 + \frac{64}{9\pi^2}},$$

în care A este amplitudinea maximă a deplasării particulelor mediului.

Pe baza celor expuse se vede că ecuaţia de mişcare a armăturii, ţinînd seama de toate forţele care acţionează, se va scrie în felul următor

$$\frac{G}{g}\ddot{x} = F_1 + F_2 + F_3,$$

în care: G este greutatea armăturii;
g — acceleraţia gravitaţiei;
$\ddot{x}$ — acceleraţia armăturii;
F_1 — forţa resortului;
F_2 — forţa electromagnetului;
F_3 — forţa de reacţie a mediului.

Se ştie că deplasarea maximă a armăturii (în cazul randamentului maxim) apare atunci cînd sistemul vibratoriu este la rezonanţă.

Scanned with OKEN Scanner

Dacă vibratorul funcţionează fără premagnetizare, trebuie ca dublul pulsaţiei tensiunii de alimentare (ω) să fie egal cu pulsaţia proprie K a vibraţiilor armăturii (luînd în considerare toate subansamblele mecanice care o compun), adică

$$\omega = K,$$

unde ω este dublul pulsaţiei tensiunii de alimentare f_a (cînd vibratorul funcţionează cu premagnetizare $\omega = 2\pi f_a$).

Se ştie că pulsaţia proprie K a vibraţiilor unei greutăţi G, suspendată de un resort cu rigiditatea c, este determinată de ecuaţia

$$K = \sqrt{\frac{cg}{G}}$$

de unde rezultă $c = K^2G/g$; punînd condiţia $\omega = K$, vom obţine expresia pentru calculul rigidităţii resortului

$$c = \frac{\omega^2 G}{g}.$$

În greutatea sistemului mobil intră greutatea armăturii, a tijei şi a plăcuţei radiante. Dimensiunile acestor elemente componente ale sistemului mobil sînt determinate în majoritatea cazurilor din considerente constructive. Calculul construcţiei resortului, pe baza datelor obţinute mai sus, se face prin metodele de calcul obişnuite.

c) Calculul electromagneţilor

Electromagneţii folosiţi în vibratoarele electromagnetice se compun dintr-un miez şi o bobină de excitaţie. Miezurile electromagnetului sînt cu o singură coloană, cu mai multe coloane, sau în formă de inel. Ele sînt confecţionate în mod obişnuit din oţel electrotehnic moale. Pe miez se aşază bobina de excitaţie. Ea poate fi alcătuită dintr-o singură înfăşurare (cînd se lucrează fără premagnetizare de curent continuu), sau din două înfăşurări.

În ultimul caz, printr-o înfăşurare circulă curentul alternativ de excitaţie, iar prin cealaltă, curentul continuu de premagnetizare. Uneori, curentul de premagnetizare şi cel de excitaţie circulă printr-un bobinaj comun.

Calculul electromagneţilor se reduce la calculul forţei electromagnetului. În cele ce urmează este prezentată metoda de calcul pentru principalele tipuri de electromagneţi. Pentru simplificare, în calcule nu se ţine seama de pierderile inevitabile provocate de scăpări, histerezis, curenţi turbionari, precum şi de abaterea valorilor inducţiei de la cele presupuse în calcul. În calcul s-a presupus existenţa unei rezonanţe a vibraţiilor sistemului mobil cu frecvenţa tensiunii de alimentare, adică condiţia de randament maxim al sistemului electromecanic al vibratorului. Din această cauză, valoarea reală a forţei electromagnetului va fi diferită de valoarea calculată. În condiţii reale, această eroare poate fi de $\pm$ 20—30 %.

Calculul unui electromagnet cu o singură coloană. La calculul unui electromagnet cu o singură coloană se cunosc în prealabil o serie de mărimi: supra-

Scanned with OKEN Scanner

fața S_{Fe} a secțiunii transversale a miezului; inducția maximă în fier, B_c [Gs] produsă de bobina de premagnetizare; inducția alternativă maximă în întrefier, B_a [Gs] (lucrul cel mai indicat este ca valoarea lui B_c să fie considerată egală cu B_a); întrefierul de aer dintre membrană și miez după conectarea bobinei de premagnetizare, δ [cm], tensiunea U_c de alimentare a bobinei de premagnetizare [V]; tensiunea U_a de alimentare a bobinei de excitație [V]; frecvența f a tensiunii de excitație [Hz]; lungimea l a spirei medii a bobinei [m].

După aceea, calculul se face în succesiunea următoare: se determină forța magnetomotoare a bobinei de premagnetizare cu formula

$$F = Iw = \frac{B_c \delta}{0{,}4\pi}$$

și se găsește secțiunea conductorului cu formula

$$q = \frac{IW\rho_1 l_1}{U_c} \text{ [mm}^2\text{]},$$

în care: ρ_1 este rezistivitatea cuprului, Ω mm^2/m;
l_1 — lungimea spirei medii, m.

Curentul maxim admisibil se determină din expresia

$$I = j\,q \quad \text{[A]},$$

în care j este densitatea curentului, A/mm^2.

Numărul de spire al bobinei de premagnetizare este

$$w = \frac{IW}{I}.$$

Secțiunea cuprului bobinei va avea valoarea

$$S_{Cu} = wq.$$

Suprafața ferestrei bobinei se determină, cu formula

$$S_0 = \frac{S_{Cu}}{\eta},$$

în care η este coeficientul de umplere a ferestrei cu cupru (de obicei 0,7—0,9).

Dimensiunile de gabarit ale bobinei de pregmagnetizare se determină cu formula

$$b = \frac{S}{t},$$

în care: S este aria ferestrei bobinei, ținînd seama de spațiul ocupat de carcasă, cm^2,
t — lățimea ferestrei, cm;
b — înălțimea bobinei, cm.

Puterea absorbită pentru producerea premagnetizării are valoarea

$$P = U_c I.$$

Scanned with OKEN Scanner

Numărul de spire al bobinei de excitație se găsește cu formula

$$w = \frac{U_a}{j\rho_1 l_2 Q},$$

în care: j este densitatea curentului, A/mm²;
ρ_1 — rezistivitatea cuprului, $\Omega \cdot mm^2/m$;
l_2 — lungimea spirei medii, m;
Q — factorul de calitate al bobinei, care are valoarea

$$Q = \frac{0{,}4\pi\omega S_{Cu}}{R_m \rho_1 l_2} \cdot 10^{-9},$$

unde S_{Cu} este secțiunea cuprului bobinei, în mm², și se determină din dimensiunile bobinei impuse în prealabil (S_{0a}):

$$S_{Cu} = \eta S_{0a},$$

$\omega = 2\pi f$ — pulsația;
R_m — reluctanța magnetică, egală cu

$$R_m = \frac{l_{Fe}}{\mu S_{Fe}} + \frac{l_{aer}}{S_{aer}}$$

unde l_{Fe} este lungimea medie a liniei magnetice în fier, cm;
l_{aer} — lungimea medie a unei linii magnetice în aer, cm;
S_{Fe} — aria secțiunii transversale a miezului, cm²;
S_{aer} — aria secțiunii întrefierului de aer, cm²;
μ — permeabilitatea magnetică a fierului, ținînd seama de premagnetizare.

Valoarea curentului de excitație este

$$I_a = \frac{U_a}{\omega L},$$

unde $L = \frac{0{,}4\ \mu w^2}{R_m}$.

Secțiunea conductorului se determină cu formula

$$q = \frac{I}{j}.$$

După determinarea secțiunii conductorului și a numărului de spire, din GOST se găsește conductorul standard cu valorile nominale, apropiate de cele calculate, găsindu-se concomitent și diametrul d_1 al conductorului cu izolație.

După aceea, se verifică amplasarea bobinajului în carcasă, ținînd seama de grosimea lui și de coeficientul de umplere a ferestrei cu cupru, cu formula

$$n_1 = \frac{h}{d_1} k_{Cu},$$

Scanned with OKEN Scanner

în care: n_1 este numărul de spire dintr-un strat;
h — înălţimea bobinajului, mm;
d_1 — diametrul conductorului cu izolaţie, mm;
k_{Cu} — coeficientul de umplere a ferestrei cu cupru (în mod obişnuit 0,7—0,9).

După aceea, se determină numărul de straturi ale bobinajului

$$n_2 = \frac{n}{n_1},$$

unde n_2 este numărul de straturi;
n — numărul de spire;
n_1 — numărul de spire dintr-un strat.

Se determină apoi grosimea bobinajului

$$t = \frac{n_2 d_1}{k_{Cu}}$$

unde: t este grosimea bobinajului, mm;
n_2 — numărul de straturi;
k_{Cu} — coeficientul de umplere (0,7—0,9);
d_1 — diametrul conductorului cu izolaţie, mm.

După aceea, se verifică dacă dimensiunile de gabarit ale carcasei corespund cu înălţimea şi grosimea bobinajului.

Un calcul identic de verificare a amplasării bobinajului în carcasă se face şi pentru alte tipuri de miezuri pentru electromagneţi. După efectuarea calculelor menţionate mai sus se determină forţa maximă a electromagnetului, cu formula

$$F = \frac{(B_c + B'_a)^2 S_{Fe}}{8\pi} \cdot 10^{-6} \quad [\text{kgf}]$$

în care B'_a este inducţia în întrefier, egală cu

$$B'_a = \frac{0{,}4\pi I w}{2\delta}.$$

Valoarea obţinută pentru forţa F a electromagnetului nu trebuie să fie mai mică decît acea valoare a forţei care este necesară pentru procesul ales. De pildă, pentru utilizarea tehnologică în regimul de cavitaţie, $F \geqslant pS$*), unde S este suprafaţa radiantă, cm^2; p — presiunea alternativă, dine/cm^2, egală cu

$$p = \Omega \rho CA,$$

unde A este amplitudinea deplasării, cm;
ω — pulsaţia, rad/s;
ρ — densitatea mediului, g/cm^3;
C — viteza sunetului în mediul respectiv, cm/s.

*) p este presiunea sonoră minimă, necesară pentru apariţia fenomenului de cavitaţie (Nota E. T.).

Scanned with OKEN Scanner

În cazul cînd calculul arată că electromagnetul nu va putea dezvolta forţa de atracţie necesară pentru cavitaţie, trebuie să se mărească aria secţiunii miezului electromagnetului, recalculînd în mod corespunzător valoarea curentului de excitaţie, numărul de amperspire etc., conform metodei generale expuse mai sus.

Calculul unui electromagnet cu mai multe coloane. La calculul unui electromagnet cu mai multe coloane (sau inelar) se dau în prealabil — pe lîngă mărimile cunoscute de obicei — şi următoarele mărimi: raza r a plăcuţei radiante, [cm]; frecvenţa f a tensiunii de alimentare, [Hz]; tensiunea U a reţelei de alimentare, [V]; secţiunea S_1 a polului interior al electromagnetului şi secţiunea S_2 a poliloi exteriori, [cm^2]. După aceea, calculul se face în ordinea următoare.

Forţa F a electromagnetului se va determina cu formula

$$F = \left(\frac{B_1}{5\,000}\right)^2 S_1 + \left(\frac{B_2}{5\,000}\right)^2 S_2 ,$$

în care: F este forţa electromagnetului, kgf;
B_1 — inducţia în polul interior, Gs;
B_2 — inducţia în polul exterior, Gs;
S_1 — secţiunea polului interior, cm^2;
S_2 — secţiunea polului exterior, cm^2.

Fluxul magnetic total are valoarea

$$\Phi = B_1 S_1 = B_2 S_2 ,$$

de unde rezultă

$$B_2 = B_1 \frac{S_1}{S_2} .$$

În acest caz

$$F = \left(\frac{B_1}{5\,000}\right)^2 S_1 + \left(\frac{B_1 S_1}{S_2 \cdot 5\,000}\right)^2 S_2 ,$$

de unde se determină apoi valoarea inducţiilor B_1 şi B_2.

$$B_1 = \sqrt{F \frac{S_2}{S_1 S_2 + S_1^2}} \cdot 5\,000 \text{ [Gs]};$$

$$B_2 = S_1 S_2 \sqrt{F \frac{S_2}{S_1 S_2 + S_1^2}} \cdot 5\,000 \text{ [Gs]}.$$

Numărul de spire al bobinajului de excitaţie se calculează din formula

$$B_1 = \frac{U \cdot 10^8}{4{,}44\, n f S_1} ,$$

de unde rezultă

$$n = \frac{U \cdot 10^8}{4{,}44\, B_1 f S_1} ,$$

în care: n este numărul de spire al bobinajului ;
U — tensiunea de alimentare, V.

După aceea, cunoscînd valoarea lui B_1, din graficul care exprimă relaţia $H = f(B_1)$, în fig. 3.3 (pentru oţel electrotehnic), se poate găsi forţa magnetomotoare de excitaţie. Curentul de excitaţie se determină cu expresia

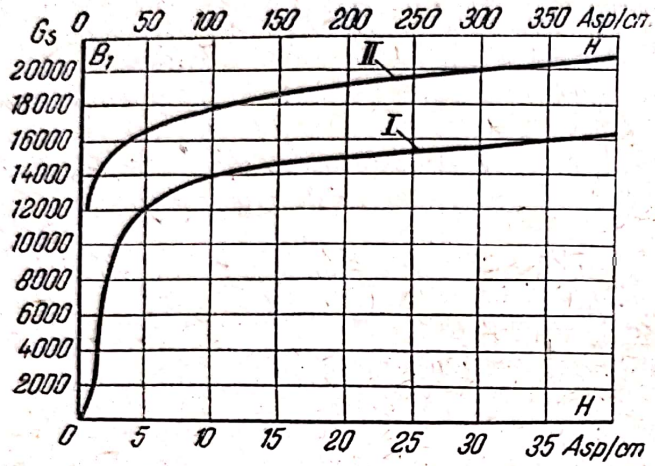


Fig. 3.3. Variaţia inducţiei magnetice în funcţie de cîmpul magnetic $B=f(H)$.

$$I = \frac{Iw}{n}.$$

Valoarea eficace a curentului este

$$I_{ef} = \frac{I}{\sqrt{2}}.$$

Diametrul conductorului din care este confecţionat bobinajul se determină, pornind de la densitatea admisibilă $j = 2{,}5$ A/mm^2 a curentului (în cazul răcirii naturale cu aer), din expresia

$$d = \sqrt{\frac{4S}{\pi}}$$

unde S este secţiunea conductorului, egală cu I_{ef}/j.

d) Exemple de calcul al vibratoarelor electromagnetice

Calculul vibratoarelor electromagnetice care funcţionează fără dublare de frecvenţă (cu premagnetizare) cu membrană circulară, fixată pe margine. Se dau următorii parametri ai vibratorului:

$r=15$ cm; $f=50$ Hz; $E=21{,}3\cdot10^{11}$ dine/cm^2; $\rho=7{,}87$ g/cm^3; $\nu=0{,}28$;

$S_{Fe}=50$ cm^2 $B_a=B_c=20\,000$ Gs; $\delta=0{,}3$ cm; $U_c=U_a=200$ V; $l_1=l_2=26$ cm; $\rho_1=1{,}7\cdot10^{-2}\,\Omega$ mm^2/m.

Calculul începe cu determinarea grosimii membranei. Grosimea membranei are valoarea

$$h=\frac{2\pi f_M r^2}{2{,}96}\sqrt{\frac{\rho(1-\nu^2)}{E}}=\frac{2\cdot3{,}14\cdot50\cdot225}{2{,}96}\sqrt{\frac{7{,}87(1-0{,}08)}{21{,}3\cdot10^{11}}}=0{,}44 \text{ mm},$$

După aceea se calculează numărul de spire şi forţa magnetomotoare dată de bobina de premagnetizare

$$F=Iw=\frac{B_c\,\delta}{0{,}4\,\pi}=\frac{20\,000\cdot0{,}3}{0{,}4\cdot3{,}14}=4\,800.$$

Secţiunea conductorului este egală cu

$$q=\frac{Iw\,\rho_1 l_1}{U_c}=\frac{4\,800\cdot1{,}7\cdot10^{-2}\cdot0{,}26}{200}=0{,}12 \text{ mm}^2.$$

Intensitatea maximă admisibilă a curentului este

$$I = j \cdot q = 2{,}5 \cdot 0{,}12 = 0{,}3 \text{ A.}$$

Numărul de spire al bobinei este

$$w = \frac{Iw}{I} = \frac{4\,800}{0{,}3} = 16\,000.$$

Secțiunea cuprului bobinei are valoarea

$$S_{Cu} = wq = 16\,000 \cdot 0{,}12 = 1\,920 \text{ mm}^2 = 19{,}2 \text{ cm}^2.$$

Aria ferestrei bobinei are valoarea

$$S_0 = \frac{S_{Cu}}{\eta} = \frac{19{,}2}{0{,}8} = 24 \text{ cm}^2.$$

Dimensiunile de gabarit ale bobinei de premagnetizare vor fi pentru $t=4$ cm și $S=30$ cm^2,

$$b = \frac{S}{t} = \frac{30}{4} = 7{,}5 \text{ cm.}$$

Puterea absorbită pentru producerea premagnetizării este

$$P = U_c I = 200 \cdot 0{,}3 = 60 \text{ W.}$$

După aceea se calculează reluctanța magnetică a bobinei de excitație. Această reluctanță va avea valoarea

$$R_m = \frac{l_{Fe}}{\mu S_{Fe}} + \frac{l_{aer}}{S_{aer}} = \frac{15}{5\,000 \cdot 50} + \frac{0{,}3}{50} = 6 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^{-1}.$$

Pentru o secțiune a cuprului bobinei de excitație

$$S_{Cu} = 30 \text{ cm}^2,$$

factorul de calitate al bobinei are valoarea

$$Q = \frac{0{,}4\,\pi\,\omega\,S_{Cu}}{R_m\,\rho_1\,l_2} \cdot 10^{-9} = \frac{0{,}4 \cdot 3{,}14 \cdot 2 \cdot 3{,}14 \cdot 50 \cdot 30 \cdot 10^2 \cdot 10^{-9}}{6 \cdot 10^{-3} \cdot 1{,}7 \cdot 10^{-2} \cdot 0{,}26} = 40.$$

Numărul de spire al bobinei de excitație este

$$W = \frac{U_a}{j\,\rho_1\,l_2\,Q} = \frac{200}{2{,}5 \cdot 1{,}7 \cdot 10^{-2} \cdot 0{,}26 \cdot 40} = 460.$$

Valoarea curentului de excitație este

$$I = \frac{U_a}{\omega L} = \frac{U_a\,R_m}{\omega_0 4\,\pi\,w^2} = \frac{290 \cdot 6 \cdot 10^{-3} \cdot 10^9}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 50 \cdot 0{,}4 \cdot 3{,}14 \cdot 460^2} = 7 \text{ A.}$$

Secțiunea conductorului este

$$q = \frac{I}{j} = \frac{7}{2{,}5} = 2{,}8 \text{ mm}^2.$$

Forța magnetizantă este

$$Iw = 7 \cdot 460 = 3\,220.$$

Inducţia din întrefier este

$$B'_a = \frac{0{,}4\,\pi\, Iw}{2\,\delta} = \frac{0{,}4 \cdot 3{,}14 \cdot 3\,220}{2 \cdot 0{,}3} = 6\,410 \text{ Gs.}$$

Forţa maximă a magnetului este

$$F = \frac{(B_C + B'_a)^2\, S_{Fe}}{8\pi}\, 10^{-6} = \frac{(20\,000 + 6\,470)^2}{8 \cdot 3{,}14} \cdot 50 \cdot 10^{-6} = 1\,400 \text{ kgf.}$$

Calculul unui vibrator electromagnetic care funcţionează cu dublare de frecvenţă (fără premagnetizare) cu membrană circulară fixată pe margine. Se dau următorii parametri ai electromagnetului

$$r = 15 \text{ cm}; \; f = 50 \text{ Hz}; \; U = 220 \text{ V}; \; S = 78{,}5 \text{ cm}^2; \; S_2 = 393 \text{ cm}^2.$$

Alegem tipul de miez bipolar (inelar) arătat în fig. 3. 4. Calculul se face în ordinea următoare.

Inducţiile B_1 şi B_2 vor avea valorile

$$B_1 = \sqrt{F \cdot \frac{S_2}{S_1 S_2 + S_1^2}} \cdot 5\,000 = \sqrt{706 \cdot \frac{393}{78{,}5 \cdot 393 + 78{,}5^2}} \cdot 5\,000 = 13\,700 \text{ Gs;}$$

$$B_2 = \frac{S_1}{S_2} B_1 = 13\,700 \cdot \frac{78{,}5}{393} = 2\,740 \text{ Gs.}$$

Atunci numărul de spire va fi

$$n = \frac{U \cdot 10^8}{4{,}4 B_1 f S_1} = \frac{220 \cdot 10^8}{4{,}44 \cdot 13\,700 \cdot 50 \cdot 78{,}5} = 92.$$

Intensitatea cîmpului magnetic se găseşte din graficul din fig. 3.3. Ea va fi egală cu 8 Asp/cm.

Ţinînd seama de necesitatea compensării pierderilor, această valoare se dublează şi devine egală cu 16 Asp/cm. Lungimea liniei magnetice în fier, conform desenului din fig. 3. 4. este egală cu 41 cm, de unde rezultă că forţa magnetomotoare totală de excitaţie are valoarea $Hl = 16 \cdot 41 = 656$ Asp.

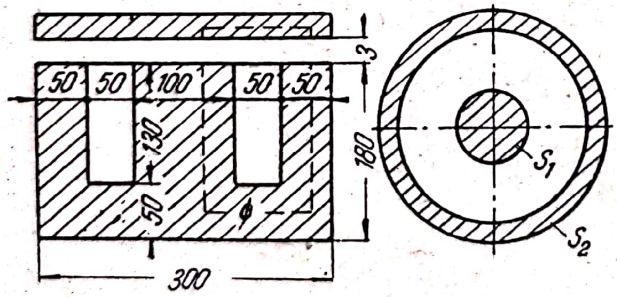


Fig. 3.4.

După aceea se găseşte valoarea de vîrf a curentului

$$I = \frac{Hl}{w} = \frac{656}{92} \approx 7A$$

şi apoi valoarea eficace a curentului

$$I_{ef} = \frac{I}{\sqrt{2}} = \frac{7}{\sqrt{2}} \approx 5\text{A.}$$

Secţiunea conductorului va fi

$$S = \frac{I}{j} = \frac{5}{2{,}5} = 2 \text{ mm}^2,$$

iar diametrul conductorului

$$d = \sqrt{\frac{4S}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2}{3{,}14}} = 1{,}55 \text{ mm.}$$

În conformitate cu GOST-ul respectiv alegem $d = 1{,}56$ mm.

Scanned with OKEN Scanner

Diametrul conductorului ПЭ—1 cu izolație este

$$d_1 = 1{,}64 \text{ mm}.$$

Numărul de spire dintr-un strat va fi

$$n_1 = \frac{h}{d_1} k_{Cu} = \frac{130}{1{,}64} \cdot 0{,}8 = 68,$$

iar numărul de straturi va fi

$$n_2 = \frac{n}{n_1} = \frac{92}{68} \cong 2 \text{ straturi}.$$

Grosimea bobinajului are valoarea

$$t = \frac{n_2 d}{k_{Cu}} = \frac{2 \cdot 1{,}64}{0{,}8} = 4{,}1 \text{mm}.$$

În consecință, spirele care alcătuiesc bobinajul (4,1×130 mm) încap comod în fereastră (130×50 mm), ținînd seama de izolația dintre straturi și de grosimea carcasei (1 mm).

Calculul unui vibrator electromagnetic cu armătură suspendată liber (electromagnetul funcționează fără magnetizare în curent continuu). Pentru calcul se dau următorii parametri ai armăturii: $r=15$ cm, grosimea armăturii $h=1{,}2$ mm, materialul — oțel (greutatea specifică 7,8 g/cm^3). În acest caz greutatea armăturii va fi

$$G = V\rho; \quad V = \pi r^2 h; \quad G = 3{,}14 \cdot 225 \cdot 0{,}12 \cdot 7{,}8 = 660 \text{ g}.$$

Rigiditatea resortului va avea valoarea

$$c = \frac{(4\pi f)^2 G}{g} = \frac{(4 \cdot 3{,}14 \cdot 50)^2 \cdot 0{,}66}{980} = 242 \text{ kgf/cm}.$$

Valorile optime ale rigidității se determină din condițiile de egalitate a pulsațiilor ω și K. În acest caz se admite o oarecare diferență între ω și K, care micșorează rigiditatea resortului. Pentru a se menține valoarea eficace a amplitudinii vibrațiilor armăturii este necesar să se mărească numărul de amperspire de excitație ale electromagnetului. Acest lucru se obține experimental, la reglarea montajului.

Calculul ulterior al electromagnetului propriu-zis nu se deosebește de cel expus mai sus. Pentru calculul unui vibrător electromagnetic cu armătură suspendată liber, care funcționează pe frecvența tensiunii de alimentare, este necesar să se introducă o corecție numai în formula care exprimă rigiditatea resortului

$$c = \frac{\omega^2 G}{g},$$

unde

$$\omega = 2\pi f;$$

de aici rezultă

$$c = \frac{(2\pi f)^2 G}{g}.$$

Înlocuind valorile mărimilor respective, obținem

$$c = \frac{(2 \cdot 3{,}14 \cdot 50)^2 \cdot 0{,}66}{980} = 60 \text{ kgf/cm}.$$

După cum se vede, în cazul considerat a fost schimbată numai valoarea pulsației sistemului mecanic, adică în loc de $\omega = 4\pi f$ (pentru sistemul fără premagnetizare) a fost luată valoarea $\omega = 2\pi f$ (pentru sistemul cu pregmagnetizare), unde f este frecvența tensiunii de alimentare.

Ca și în cazul precedent, ajustarea definitivă a parametrilor electromagnetului se face în timpul încercărilor asupra prototipului.

e) Descrierea tipurilor principale de vibratoare electromagnetice

Vibratorul electromagnetic ЭМ-М cu o membrană elastică fixată pe margine, constituind fundul unui vas (fig. 3.5). Cînd prin bobinajul *1* al electromagnetului trece curent alternativ, apare un flux magnetic alternativ care străbate miezul electromagnetului *2*, fundul *3* al vasului *4* şi întrefierurile de aer dintre ele. Fundul vasului este supus acţiunii a două forţe dirijate în sens invers: forţa de atracţie, care îl îndoaie în jos, şi forţa de elasticitate, care tinde să se opună îndoirii. Deoarece forţa de atracţie este alternativă, avînd două maxime în timpul unei perioade de oscilaţie a curentului care circulă prin bobinajul electromagnetului, fundul vasului începe să emită vibraţii sonore. Distanţa dintre fundul vasului şi miezul electromagnetului poate fi reglată: rotind partea superioară a vasului în sens orar sau în sens antiorar, se micşorează sau se măreşte întrefierul. Amplitudinea vibraţiilor pe care le exe-

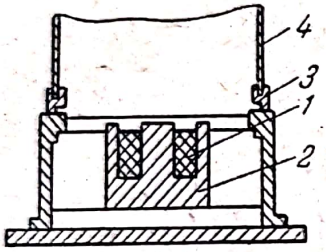


Fig. 3.5. Vibratorul electromagnetic Э М-М.

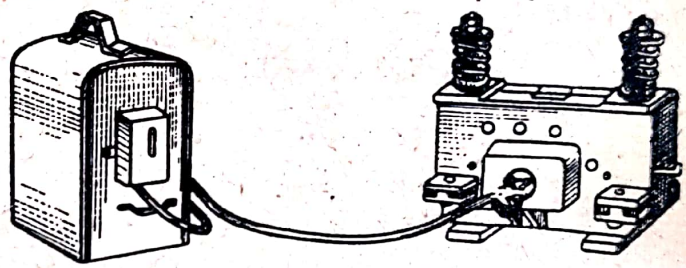


Fig. 3.6. Vibratorul electromagnetic И-85.

cută fundul vasului va fi maximă dacă frecvenţa vibraţiilor forţate coincide cu frecvenţa proprie de vibraţie a membranei. Întrucît pe frecvenţele diferite de cea de rezonanţă coeficientul de transformare este foarte scăzut, în mod obişnuit se foloseşte un set de membrane avînd diferite frecvenţe proprii de vibraţie. În acest caz fundul vasului de lucru este confecţionat în aşa fel, încît să poată fi schimbat.

Vibratorul electromagnetic И-85 (fig. 3.6) se compune din două părţi principale: cutia (cu armătura) şi carcasa (cu miezul şi bobina), care sînt legate între ele cu ajutorul unor resorturi lamelare şi cilindrice. Alimentarea electrică se face de la o reţea de curent alternativ; pentru redresarea unei singure alternanţe se foloseşte un redresor cu seleniu. Amplitudinea vibraţiilor este de 1,2 mm în cazul unei frecvenţe de 50 Hz a vibraţiilor. Puterea electrică absorbită este de 0,9 kW.

Vibratorul electromagnetic СВП-1 (fig. 3.7) este închis într-o cutie pe care este montată o consolă cu şurub de strîngere pentru fixarea cutiei la vasul care conţine soluţia ce urmează a fi prelucrată. De cutie este fixat un tub cu inel de siguranţă pentru membrană, care este legată de electromagnet prin intermediul unei tije. Prin tijă se barbotează aer în soluţia supusă prelucrării. Aparatele se conectează direct la o reţea cu tensiunea de 220 V şi cu putere nominală de 250 W.

La aparatele descrise amplitudinea vibraţiilor poate fi variată între anumite limite prin mărirea saú micşorarea distanţei dintre electromagnet şi mem-

brană. Frecvenţa fundamentală a vibraţiilor elastice este de 100 Hz (în cazul alimentării de la o reţea de curent alternativ).

Vibratorul electromagnetic unidirecţional ЭМ-О cu armătură suspendată liber (fig. 3.8) se compune din baza *1* cu suporturile 2, care susţin electromagnetul *3*. Cu ajutorul tijei 5, care trece prin centrul bobinei electromagnetului, armătura *4* este legată de plăcuţa radiantă *6*. Revenirea armăturii în poziţia iniţială este realizată de resorturile lamelare *7*.

Fig. 3.7. Vibratorul electromagnetic СВП-1.

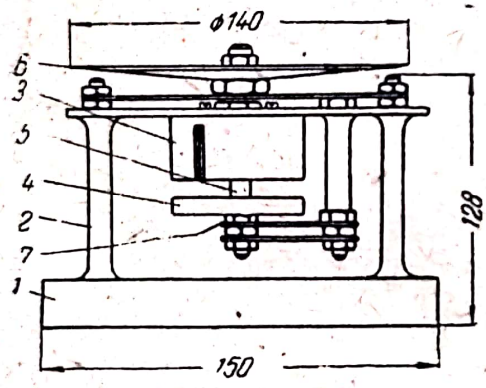


Fig. 3.8. Vibratorul electromagnetic unidirecţional ЭМ-О.

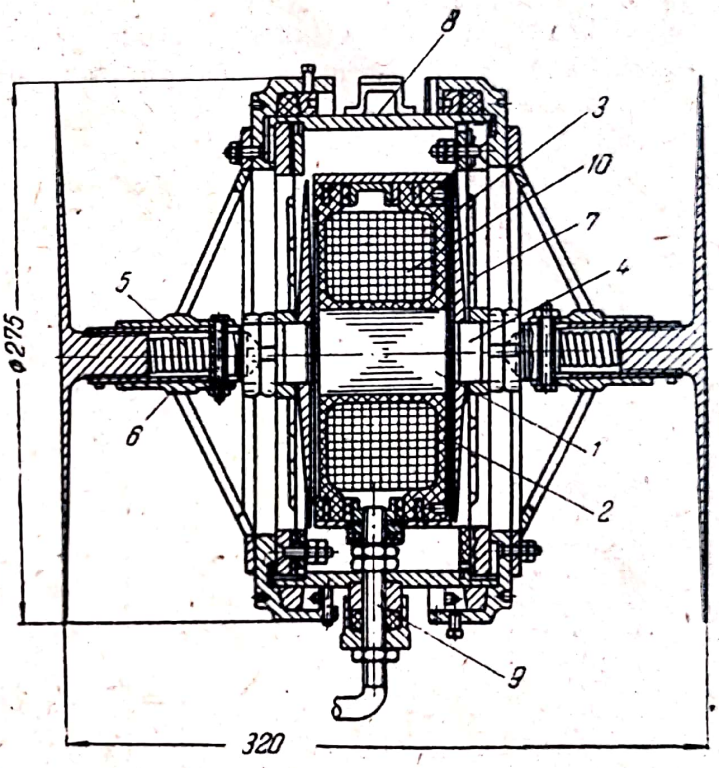


Fig. 3.9. Vibratorul electromagnetic bidirecţional ermetizat tip ЭМ-ДГ.

Vibratorul electromagnetic unidirecţional ЭМ-О este destinat să funcţioneze în lichide. Alimentarea vibratorului se face de la o reţea de curent alternativ cu tensiunea de 127—220 V, prin intermediul unui transformator coborîtor, avînd tensiunea de ieşire de 36 V. Vibratorul posedă o suprafaţă de radiaţie de circa 150 cm^2 şi absoarbe o putere de aproximativ 0,5 kW; el are un electromagnet de dimensiuni mici. Răcirea lui este realizată chiar de lichidul de lucru.

Vibrator electromagnetic bidirecţional ermetizat ЭМ-ДГ cu armătură suspendată liber. Elementul principal al vibratorului (fig. 3.9) este miezul *1*, presat în carcasa 2. Cele două armături *3* sînt fixate pe tijele *4*, la capetele cărora se găsesc plăcuţele radiante. Resorturile 5 apasă armăturile pe bucşele de sprijin *6*. Armăturile poartă membranele ondulate *7*, confecţionate din material inoxidabil elastic.

Electromagnetul asamblat este introdus în cutia circulară *8*. Legătura dintre cutie şi electromagnet se face prin ştuţurile 9. Prin perechea de ştuţuri

se introduc conductoarele de alimentare cu izolaţie corespunzătoare, stabilă la acţiunea temperaturii şi a unui mediu agresiv (de pildă, izolaţie de fluoroplast). Locurile pe unde se introduc conductoarele se ermetizează. Printr-o altă pereche de ştuţuri se realizează circulaţia apei curgătoare necesare răcirii bobinajului *10* al electromagnetului. Reglarea amplitudinii vibraţiilor se face prin variaţia întrefierului dintre armături şi miez.

O particularitate a vibratorului electromagnetic descris este şi absenţa sarcinilor dinamice pe baza lui, în locurile unde vibratorul este fixat pe suport. Acest lucru este asigurat datorită faptului că, spre deosebire de electromagneţii cu o singură armătură, cele două armături ale acestui electromagnet sînt supuse unei sarcini egale şi dezvoltă eforturi dirijate în sens opus unul altuia.

Ca rezultat al funcţionării riguros sincrone a pieselor mobile ale vibratorului, în sensuri opuse, nici vibratorul însuşi nu este supus unor sarcini dinamice, în cutie, sau în locurile de fixare.

TABELA 3.1

Tipul	Modul de alimentare, Principiul de funcţionare	Amplitudinea vibraţiilor, mm	Frecvenţa vibraţiilor, l/min	Puterea absorbită, kW	Tensiunea de alimentare, V	Greutatea vibratorului, kg	Dimensiunile de gabarit, mm
—	Cu redresor monoalternanţă	—	3 000	0,250	—	21	—
—	Idem	—	3 000	0,250	—	20,4	—
Э-8401	Reactiv, în monotimp	—	6 000	0,350	—	20	—
И-85	Cu magneţi permanenţi, cu redresor mono alternanţă, în monotimp	1,2	3 000	0,250	220	45	300×280×300
С-378-1	Cu redresor, monoalternanţă	2—2,7	3 000	1,100	380/220	58	380×300×264
С-378-11		2—2,7	3 000	1,100	380/220	46	336×275×220
	Cu excitaţie în curent continuu, dublă alternanţă	—	3 000	2,500	—	—	—
	Cu redresor, monoalternanţă	—	3 000	7,000	—	—	—
—	—	1,2	3 000	0,062	—	65	—
—	—	1,25	3 000	0,250	380/220	—	—
377 I-PM	Cu excitaţie în curent continuu, dublăalternanţă	1,2	3 000	0,125	380	—	—
367-PM		1,8	3 000	0,500	380	—	—
411-PM	—	—	3 000	1,000	—	—	—
372-PM	—	1,4	3 000	2,000	—	—	—
ВВ8	—	—	3 000	8,000	—	—	—
В1	—	—	3 000	5,400	—	—	—
С-303	—	1,8	3 000	2,500	380/220	—	—
В-385	—	2—5	3 000	4,500	380/220	360	530×530×510
СВП-1	—	0,4	6 000	0,050	12	10	—
ВСП	—	0,3	6 000	0,030	24	6	—
ЭС-1	—	2	6 000	0,500	220	—	—

Scanned with OKEN Scanner

Vibratorul de tip ЄМ-ДГ serveşte la prelucrarea unor materiale în lichide. El este calculat pentru alimentarea de la o reţea de curent alternativ de 127—220 V. S-a prevăzut posibilitatea alimentării vibratorului cu o tensiune de 6—12 V, de la un transformator coborîtor de tensiune. Puterea absorbită de vibrator de la reţea este de 1,5—2 kW. Amplitudinea vibraţiilor poate fi reglată între 0,5 şi 10 mm. În cazul alimentării de la reţea, frecvenţa vibraţiilor este de 100 Hz. Dimensiunile suprafeţei radiante sînt de circa 600 cm^2 pe fiecare parte.

O particularitate a vibratorului constă în posibilitatea folosirii lui în lichide care fierb sau sînt uşor agresive (de exemplu în soluţii slabe de acizi sau baze).

Răcirea bobinajelor se face cu un curent de apă. Electromagnetul vibratorului este ermetizat cu ajutorul unui înveliş anticoroziv care îl izolează complet de mediul exterior.

În afară de vibratoarele descrise mai sus, industria sovietică fabrică şi alte vibratoare electromagnetice, ale căror caracteristici sînt date în tabela 3.1. Aspectul exterior al unora dintre aceste vibratoare este arătat în fig. 3.10.

3.2. VIBRATOARE ELECTRODINAMICE

a) Principii fundamentale şi metode de calcul

Principiul de funcţionare al vibratorului electrodinamic se bazează pe interacţiunea cîmpurilor magnetice ale unui magnet permanent imobil şi unei bobine mobile (sau unui inel mobil), alimentate în curent alternativ. Vibratoarele de acest tip au utilizare în gama de frecvenţe 50—5 000 Hz.

Există vibratoare electrodinamice de două tipuri: cu inducere a unui curent într-o bobină mobilă închisă şi cu alimentare directă a bobinei mobile.

Vibratoarele în care se induce curent într-o bobină mobilă închisă pot fi confecţionate cu membrană rezonatoare sau cu bară rezonatoare. Acestea sînt legate rigid de bobina mobilă.

Calculul vibratoarelor de acest fel se face în modul următor:

Forţa maximă F, care acţionează asupra elementului vibrator are valoarea

$$F = \frac{Bl\, i'_{max}}{10} \text{ [kgf]},$$

în care: B este inducţia magnetică în întrefierul magnetului, Wb/mm^2 ($1\ Gs = 10^{-4}\ Wb/m^2$);

l — lungimea perimetrului inelului mobil, m;

i'_{max} — curentul maxim din inelul mobil, A;

$$i'_{max} = \sqrt{2}\, n_1 i\,,$$

unde n_1 este numărul efectiv de spire din bobina de excitaţie;

i — valoarea eficace a curentului din bobina de excitaţie, A.

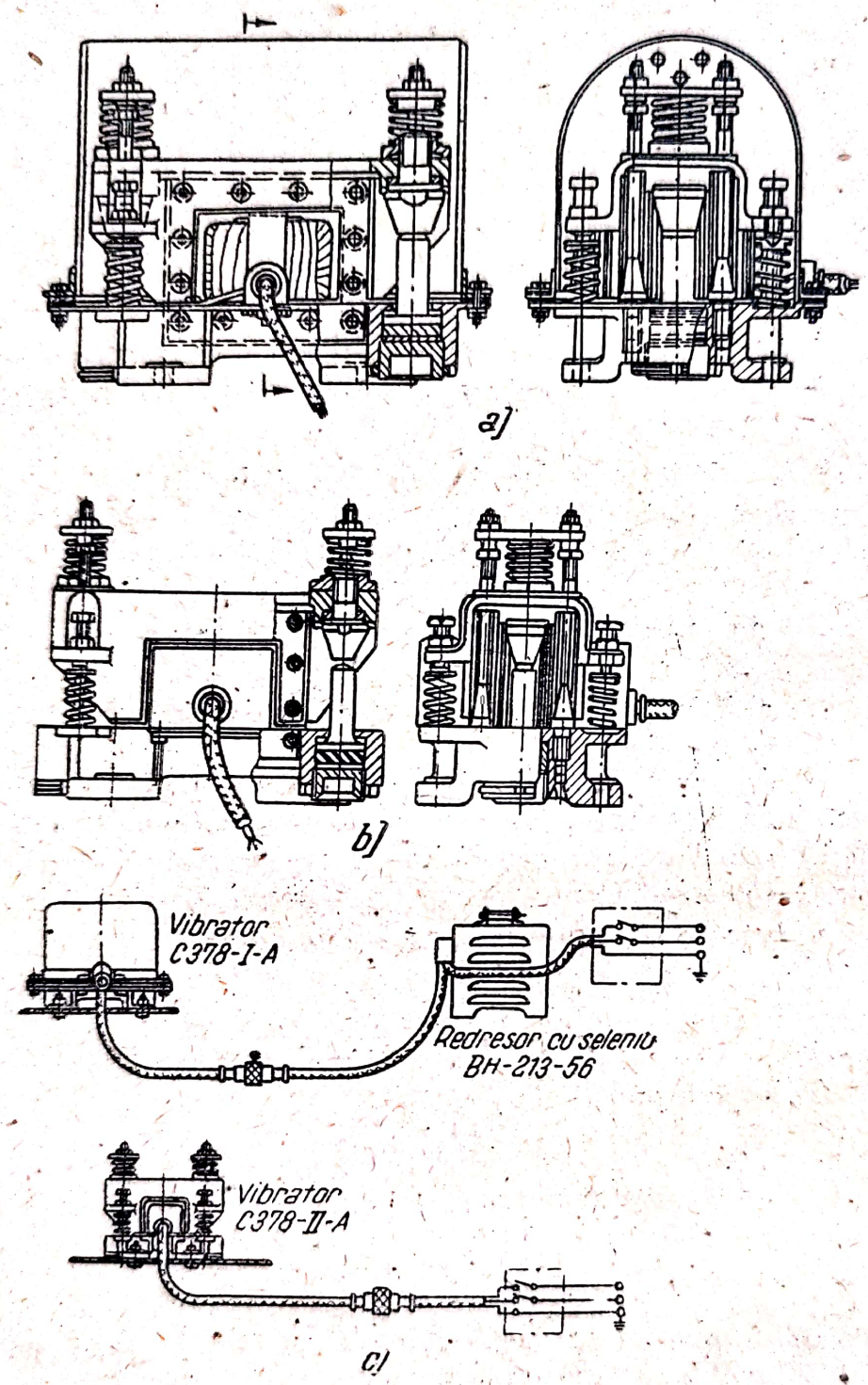


Fig. 3.10. Aspectul exterior și schemele de conectare a vibratoarelor electromagnetice C-378-IA și C-378-IIA:

a — vibratorul C-378-IA; *b* — vibratorul C-378-IIA; *c* — schemele de conectare.

Scanned with OKEN Scanner

Rezistența din circuitul electric al vibratorului, la rezonanță, se calculează cu formula

$$r_m = \frac{B^2 l^2 n_1^2 \cdot 10^{-9}}{R} \ [\Omega],$$

în care: R este rezistența mecanică, Ω;
B — inducția, Gs;

$$R = \frac{1}{2} \rho_1 C_1 \delta S_1,$$

în care: ρ_1 este densitatea barei sau membranei vibratoare, kg/m³;
C_1 — viteza sunetului în bară, m/s;
S_1 — aria secțiunii transversale a barei sau membranei, m²;
δ — decrementul logaritmic al amortizării

$$\delta = \frac{\pi \Delta f_0}{f_0},$$

unde: f_0 este frecvența de rezonanță, Hz;
Δf_0 — abaterea față de frecvența de rezonanță, pentru care amplitudinea vibrațiilor scade la valoarea $A_{max}/\sqrt{2}$.

Frecvența de rezonanță a barei (pentru cazul $l \gg r$) se determină cu formula

$$f_0 = \frac{(1-\sigma^2)\pi^2 l^2}{4 l^2} \cdot \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{E}{\rho}}.$$

Pentru cazul $l \approx r$

$$f_0 = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{E}{\rho}},$$

unde: σ este coeficientul lui Poisson;
r — raza barei, cm;
l — lungimea barei, cm;
E — modulul lui Young, dine/cm²;
ρ — densitatea, g/cm³.

Cînd bara rezonatoare este fixată în centrul de greutate, pentru asigurarea unor condiții optime de excitație, diametrul d al cilindrului barei și lungimea l a acestuia trebuie să se găsească în raportul $d/l = 2K/\pi$, unde K este una dintre rădăcinile funcției Bessel de ordinul întîi. Așadar, primelor două rădăcini le corespunde un raport d/l egal respectiv cu 1,178 și 3,393.

Frecvența de rezonanță a membranei fixate pe margini se determină cu formula

$$f = \frac{10{,}24\, d}{\pi D^2} \sqrt{\frac{E}{3\rho(1-\sigma^2)}},$$

în care: D este diametrul membranei, cm;
d — grosimea membranei, cm.

Amplitudinea vibraţiilor are valoarea

$$A = \frac{\sqrt{2}\, Bl\, n_1\, i}{20\, \pi\, fR} \text{ [cm]}$$

în care: B este inducţia, Gs;
l — perimetrul inelului, cm;
i — curentul din bobina de excitaţie, A;
R — rezistenţa mecanică, Ω .

Randamentul vibratorului este egal cu produsul dintre randamentul electric şi cel mecanic. Randamentul electric poate fi determinat prin măsurarea rezistenţei mecanice r_m şi a rezistenţei totale r a vibratorului la rezonanţă:

$$\eta_e = \frac{r_m}{r} = \frac{r_m}{r_m + r_e}.$$

Mărimea r poate fi exprimată sub forma sumei formate din rezistenţa maximă r_m şi rezistenţa electrică r_e a bobinei de excitaţie şi a inelului de comandă sau (în absenţa vibraţiilor) sub forma unei impedanţe.

Randamentul mecanic se calculează cu formula

$$\eta_m = \frac{2\rho C}{\delta \rho_1 C_1}$$

în care: ρ este densitatea mediului, g/cm^3
C — viteza sunetului în mediul respectiv, cm/s;
ρ_1 — densitatea materialului vibratorului, g/cm^3;
C_1 — viteza sunetului în vibrator, cm/s;
ρ — decrementul logaritmic al amortizării.

Un alt tip vibrator electrodinamic este cel cu alimentare directă a bobinei mobile. Vibratoarele de acest tip pot fi de asemenea realizate, din punct de vedere constructiv, cu membrană rezonatoare sau cu bară rezonatoare. Cea mai largă răspîndire o au vibratoarele cu membrană rezonatoare (fig. 3.11). Calculul unor asemenea vibratoare se efectuează prin metoda următoare.

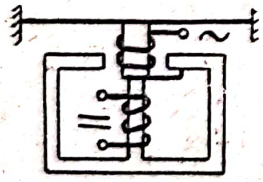


Fig. 3.11. Vibrator electrodinamic cu alimentare directă a bobinei mobile.

Forţa maximă F [kgf] care acţionează asupra vibratorului are valoarea

$$F = \frac{Bl\, i_{max}}{10}$$

unde: B este inducta magnetică în întrefierul magnetului, Wb/m^2;
l — lungimea conductorului bobinei, m;
i_{max} — curentul din bobină, A.

Rezistenţa din circuitul electric al vibratorului are valoarea

$$r_m = \frac{B^2 l^2 \cdot 10^{-9}}{R},$$

unde R este rezistenţa mecanică (se determină aşa cum s-a arătat mai sus).

Scanned with OKEN Scanner

Amplitudinea vibraţiilor este

$$A = \frac{\sqrt{2}\,Bli}{20\pi Rf}\ [\text{cm}],$$

unde: B este inducţia, Gs;
l — perimetrul inelului, cm;
i — curentul din bobină, A;
f — frecvenţa curentului, Hz.

Randamentul se calculează la fel ca pentru vibratoarele electrodinamice în care se induce un curent într-o bobină mobilă închisă.

b) Exemplu de calcul al unui vibrator electrodinamic, în care se induce un curent într-o bobină mobilă închisă, cu bară rezonatoare

Se dau următorii parametri ai vibratorului: $B=12\,500$ Gs$=1{,}25$ Wb/cm^2; $l=31$ cm; raza barei $r=7{,}6$ cm; $l_b=13$ cm; (lungimea barei); $n_1=44{,}7$; $i=1$ A; $S_1=180$ cm$^2=1{,}8\cdot10^{-2}$ m^2; $\rho C=1{,}38\cdot10^7$ kg/m$^2\cdot$s; $\delta=0{,}14$ (se determină experimental pentru bara respectivă).

Calculul se face în ordinea următoare.

1. Se determină curentul maxim din inelul mobil:

$$i_{max} = \sqrt{2}\,n_1 I = \sqrt{2}\cdot 44{,}7\cdot 1 = 63\ \text{A}.$$

2. Se găseşte forţa maximă care acţionează asupra vibratorului:

$$F = \frac{Bl\,i_{max}}{10} = \frac{1{,}25\cdot 0{,}31\cdot 63}{10} = 2{,}5\ \text{kgf}.$$

3. Se determină rezistenţa mecanică:

$$R = \frac{1}{2}\rho_1 C_1 \delta S_1 = \frac{1}{2}\cdot 1{,}38\cdot 10^7\cdot 1{,}8\cdot 10^{-2}\cdot 0{,}14 = 1{,}2\cdot 10^4\ \Omega.$$

4. Se calculează rezistenţa din circuitul electric:

$$r_m = \frac{B^2 l^2 n_1^2\cdot 10^{-9}}{R} = \frac{1{,}25^2\cdot 10^8\cdot 31^2\cdot 44{,}7^2\cdot 10^{-9}}{1{,}2\cdot 10^4} = 25\,\Omega.$$

5. Frecvenţa de rezonanţă a barei alese are valoarea

$$f_0 = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{E}{\rho}} = \frac{1}{2\cdot 13}\sqrt{\frac{7{,}4\cdot 10^{11}}{2{,}79}} = 19{,}8\ \text{kHz}.$$

Din cauza vibraţiilor radiale, valoarea lui f_0 se micşorează întrucîtva şi este de 18—19 kHz.

6. Amplitudinea vibraţiilor vibratorului este

$$A = \frac{\sqrt{2}\,Bln_1 i}{20\pi f R} = \frac{1{,}41\cdot 1{,}25\cdot 10^4\cdot 31\cdot 44{,}7\cdot 1}{20\cdot 3{,}14\cdot 18{,}5\cdot 10^3\cdot 1{,}2\cdot 10^4} = 2\cdot 10^{-4}\ \text{cm}$$ (pentru $f_0 = 18{,}5$ kHz).

7. Admitem că randamentul electric al unor asemenea vibratoare are valoarea:

$$\eta_e \approx 0{,}7$$

Randamentul mecanic este de ordinul de mărime $\eta_m \approx 0{,}4$.
Randamentul total are valoarea $\eta_e\,\eta_m \approx 30\,\%$.

Scanned with OKEN Scanner

c) Descrierea principalelor tipuri de vibratoare electrodinamice

Vibratorul electrodinamic ЭД-С în care se foloseşte o bară rezonatoare (fig.3.12) se compune din bara rezonatoare *1* confecţionată din duraluminiu. Bara se fixează cu ajutorul nervurii inelare 2, strunjită în aşa fel, încît să constituie un singur întreg cu bara. Nervura este prinsă între două garnituri de cauciuc *3* şi *4*. Deoarece diametrul barei este egal cu lungimea ei, apar în bară — sub acţiunea comprimărilor transversale — şi vibraţii radiale. În cazul unei fixări rigide pe linia mediană, aceste vibraţii ar duce la o atenuare puternică a vibraţiilor principale. De aceea, cele mai bune rezultate le dă fixarea elastică a barei în centrul de greutate.

Pe capătul inferior al barei există inelul de comandă *5*. Acest inel intră în întrefierul radial *6* al electromagnetului. Bobina de excitaţie a electromagnetului este înfăşurată pe polul central *7* al magnetului şi serveşte drept bobinaj primar pentru transformator. Bobinajul secundar este chiar inelul de comandă care constituie o singură spiră. Premagnetizarea electromagnetului se face cu bobina *9*.

În unele cazuri, în locul unui electromagnet se pot folosi magneţi permanenţi confecţionaţi din aliaj alnico sau magnico. Vibratoarele de acest tip au o curbă de rezonanţă foarte ascuţită, fapt datorită căruia chiar abateri neînsemnate ale frecvenţei de excitaţie de la frecvenţa de rezonanţă provoacă o

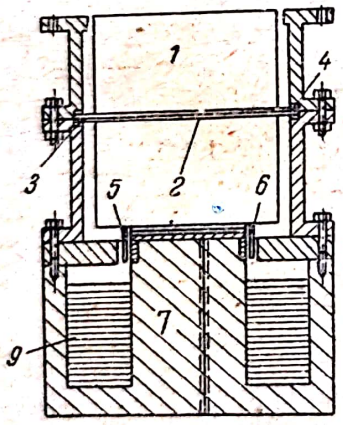


Fig. 3.12. Vibrator electrodinamic ЭД-С.

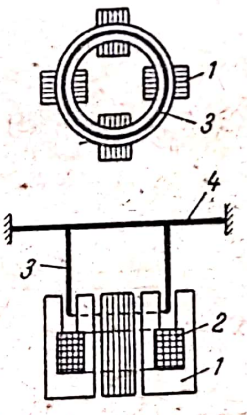


Fig. 3.13. Vibrator electrodinamic ЭД-М.

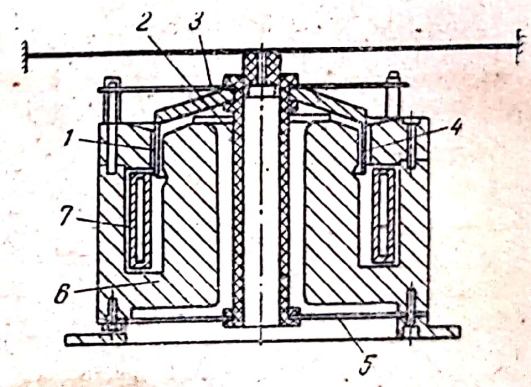


Fig. 3.14. Vibrator electrodinamic ЭД ПК

scădere apreciabilă a amplitudinii vibraţiilor. De aceea, pentru alimentarea unor vibratoare de acest fel se folosesc instalaţii speciale cu traductor capacitiv fixat pe capătul vibratoriu al barei.

Vibratorul electrodinamic ЭД-*М*, în care se foloseşte o membrană (fig. 3.13), se compune din patru magneţi *1* în formă de potcoavă, asamblaţi din tole şi excitaţi de curentul alternativ care circulă prin bobina 2. În întrefierurile de aer ale acestor magneţi intră inelul de comandă *3* legat cu membrana *4*.

Vibratorul electrodinamic ЗД-ПК cu bobină mobilă (fig. 3.14) este construit în felul următor. Bobina *1* este legată rigid de bara mobilă *2*, fixată la ambele capete pe diafragmele flexibile *3* şi *5*.

Bobina vibratoarelor cu puterea de cîţiva kilowaţi este confecţionată din bandă de cupru, fără carcasă. Bobina se amplasează în fanta îngustă *4* a unui magnet permanent sau a electromagnetului *6*, a cărui bobină de excitaţie *7* este alimentată în curent continuu. Pentru obţinerea unor vibraţii ultrasonore de amplitudini mari se foloseşte o suspensie rigidă, a cărei rigiditate se alege în aşa fel, încît sistemul să poată fi acordat la rezonanţă pe frecvenţa necesară. În acest mod se obţine o mărire de cîteva ori a amplitudinii.

3.3. VIBRATOARELE MAGNETOSTRICTIVE

a) Principii fundamentale

Vibratoarele magnetostrictive se compun din două părţi principale: un element activ (elementul magnetostrictiv propriu-zis) şi un element pasiv (transformatorul acustic al vibraţiilor elastice, de pildă vibratoarele de tip ПМС sau ПМ-15).

Adesea, elementul activ al vibratorului — elementul magnetostrictiv propriu-zis — este folosit direct ca sursă de vibraţii ultrasonore, cum este cazul de pildă cu vibratoarele НЗЛ-IV şi НЗЛ-V.

Cea de-a doua parte a vibratorului, elementul pasiv, poate îndeplini diverse funcţiuni auxiliare cu caracter tehnologic şi constructiv: protecţia elementului activ împotriva distrugerii din cauza cavitaţiei şi împotriva acţiunii chimice a mediilor agresive (de pildă în cazul excitaţiei unor vibraţii în soluţii de baze şi acizi), împotriva temperaturilor înalte (cînd se lucrează cu metale topite), pentru adaptarea vibratorului atunci cînd se lucrează într-un lichid, pentru realizarea unei fixări rigide pe maşinile-unelte şi pentru a realiza legătura cu scula (în cazul prelucrării mecanice a materialelor dure şi casante). Destinaţia principală a elementului pasiv este de a transmite, în mediul supus prelucrării, vibraţiile elastice produse de elementul activ.

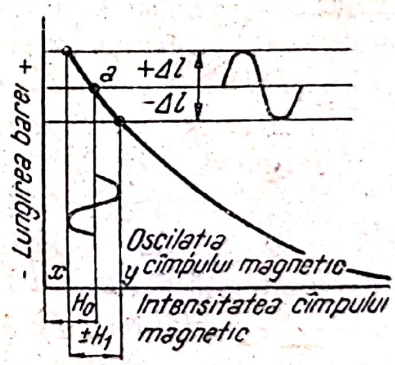


Fig. 3.15. Graficul variaţiei lungimii unei bare magnetostrictive în funcţie de variaţia intensităţii cîmpului magnetic.

Dacă într-un cîmp magnetic alternativ se introduce o bară de nichel fixată la mijloc, sub acţiunea acestui cîmp dimensiunile geometrice ale barei vor varia în ambele semiperioade ale oscilaţiilor cîmpului magnetic. În fig. 3.15 este reprezentat un grafic care arată variaţia lungimii barei (pe axa ordonatelor) în funcţie de variaţia intensităţii cîmpului magnetic (pe axa absciselor).

Din grafic reiese că fiecărei alternanţe a cîmpului magnetic îi corespunde o variaţie proporţională (Δl) a lungimii barei. În cazul unei premagnetizări (H_0), unei perioade de variaţie a cîmpului magnetic îi va corespunde

o variaţie similară a lungimii barei, adică frecvenţa vibraţiilor barei va fi aceeaşi cu frecvenţa cîmpului magnetic alternativ.[1])

Variaţia Δl a dimensiunilor geometrice ale barei depinde de valoarea magnetostricţiunii materialului ales şi de intensitatea cîmpului magnetic. Ea poate fi calculată cu formula

$$\frac{\Delta l}{l} = -\frac{\gamma}{E} B,$$

de unde rezultă

$$\Delta l = -l \frac{\gamma}{E} B$$

în care: $\frac{\Delta l}{l}$ este variaţia relativă a dimensiunilor elementului magnetostrictiv;

Δl — amplitudinea vibraţiilor elementului magnetostrictiv, cm;
l — lungimea elementului magnetostrictiv, cm;
γ — constanta efectului magnetostrictiv, dine/cm^2×Gs;
E — modulul lui Young pentru materialul din care este confecţionat elementul magnetostrictiv, dine/cm^2;
B — inducţia magnetică, Gs.

Pentru a se lucra pe o porţiune mai adecvată (mai abruptă) a curbei care exprimă dependenţa alungirii barei de intensitatea cîmpului, deci pentru obţinerea unei amplitudini mari a vibraţiilor barei, aceasta din urmă este amplasată într-un cîmp magnetic continuu (se introduce o premagnetizare constantă).

În acest caz frecvenţa vibraţiilor barei va fi egală cu frecvenţa cîmpului magnetic alternativ, iar amplitudinea vibraţiilor ei va creşte de două ori (în practică, ceva mai puţin).

Amplitudinea maximă a vibraţiilor barei apare cînd frecvenţa ei proprie de rezonanţă coincide cu frecvenţa cîmpului magnetic alternativ.

În cazul imersiunii elementului magnetostrictiv în lichid, ultrasunetele sînt radiate pe o singură direcţie, dacă la suprafaţa frontală opusă a acestuia se creează o pernă de aer, sau se lipeşte, de pildă, un strat de cauciuc poros cu grosimea de 5—50 mm. Undele acustice sînt reflectate de această pernă, faza de reflexie a vibraţiilor se schimbă cu 180°, şi ele ajung la suprafaţa radiantă cu faza necesară. În acest caz amplitudinea vibraţiilor şi puterea radiată vor creşte.

Pentru exploatarea judicioasă a vibratoarelor magnetostrictive este necesar să se ţină seama de caracteristicile tehnice, metodele principale de calcul şi particularităţile fabricării elementelor active şi pasive ale acestor vibratoare.

---

[1]) Sensul deformaţiei barei magnetostrictive nu depinde de sensul cîmpului magnetic, ci de materialul barei. În consecinţă, în absenţa cîmpului magnetic continuu de premagnetizare, pentru fiecare alternanţă a cîmpului magnetic alternativ, bara se va deforma în acelaşi sens, deci frecvenţa vibraţiilor se va dubla. (Nota red. Ed. T.).

Scanned with OKEN Scanner

b) Descrierea, caracteristicile tehnice şi bazele calculului elementului activ al vibratorului (elementul magnetostrictiv propriu-zis)

Materiale pentru fabricarea elementelor magnetostrictive. Dintre materialele magnetostrictive, cele mai numeroase aplicaţii în industrie le au nichelul, aliajele de nichel şi aluminiu, de fier şi aluminiu, de fier şi nichel, aliajele de fier şi cobalt: în ultimul timp, au început să fie folosite şi feritele. Materialele magnetostrictive (cu excepţia feritelor) sînt fabricate sub forma unor benzi şi fîşii laminate la rece, precum şi sub formă de tuburi. Feritele sînt obţinute prin presarea unor pulberi speciale, sub forma unor piese de o anumită configuraţie. În tabela 3.2 sînt date principalele caracteristici ale materialelor magnetostrictive industriale (conform datelor obţinute de NII-Cermet)[1)]

Cînd elementul magnetostrictiv este folosit pentru un anumit proces tehnologic, trebuie întotdeauna să se ia în considerare materialul din care este confecţionat. Mai jos sînt prezentate datele comparative ale mai multor materiale magnetostrictive.

TABELA 3.2

Proprietăţile principale ale materialelor	Materiale				
	Nichel	K19Ф2	K-65	IO-14	IO-12
Denumirea	Ni hel	Permendur	Permendur	Alfer	Alfer
Compoziţia	100%	49% Co 1,5—1,8% V restul Fe	65% Co restul Fe	13,8% Al restul Fe	12,8 Al restul Fe
Lungirea relativă λS	$35 \cdot 10^{-1}$	$70 \cdot 10^{-6}$	$90 \cdot 10^{-6}$	$50 \cdot 10^{-6}$	$35 \cdot 10^{-6}$
Saturaţia magnetică $4\pi IS$, Gs	6 400	24 000	22 000	13 400	15 000
Permeabilitatea iniţială μ_0	400	700	150	1 000	400
Permeabilitatea maximă μ_{max}	2 500	4 500	1 500	2 800	1 500
Forţa coercitivă H_c, Oe	0,7	2,0	3,7	0,7	0,6
Pierderile, W/kg, pentru f=20 000 Hz					
B=5 000 Gs,	2 800	800	2 750	1 175	—
B=10 000 Gs	—	2 750	10 250	—	—
Rezistivitatea electrică ρ, Ω/cm	$7 \cdot 10^{-6}$	$26 \cdot 10^{-6}$	$8 \cdot 10^{-6}$	$90 \cdot 10^{-6}$	$90 \cdot 10^{-6}$
Modulul de elasticitate E, kgf/cm^2	$2{,}10 \cdot 10^6$	$2{,}18 \cdot 10^6$	$2{,}24 \cdot 10^6$	$1{,}77 \cdot 10^6$	—
Densitatea ρ, g/cm^3	8,90	8,08	8,25	6,65	—
Rezistenţa la rupere σ kgf/cm^2	47	45	67	79	—
Punctul Curie, °C	380	980	—	—	—
Viteza C de propagare a undelor elastice, cm/s	$4{,}76 \cdot 10^5$	$5{,}2 \cdot 10^5$	$5 \cdot 10^5$	$5{,}1 \cdot 10^5$	—

[1)] Institul de cercetări ştiinţifice în domeniul metalurgiei metalelor feroase (Nota red. Ed. T).

Scanned with OKEN Scanner

Nichelul, deşi este cel mai răspîndit material folosit pentru fabricarea elementelor magnetostrictive, posedă valori relativ mici ale lungirii relative ($\Delta l/l$) datorate magnetostricţiunii şi ale saturaţiei magnetice.

Deoarece punctul Curie este scăzut la nichel, utilizarea lui la temperaturi ridicate este dificilă. Dintre avantajele acestui material trebuie menţionat faptul că el nu este sfărîmicios, se prelucrează uşor şi este fabricat pe scară largă în industrie pentru alte scopuri. Pentru fabricarea vibratoarelor sub forma unui pachet de tole se utilizează de obicei bandă cu grosimea de 0,05—0,1 mm.

Pentru fabricarea barelor magnetostrictive se folosesc tuburi de nichel (GOST 6235), cu grosimea pereţilor de la 1,00 pînă la 1,5 mm (pentru cele mai răspîndite vibratoare tubulare, cu diametru interior de la 10 pînă la 50 mm).

Aliajul IO-*14* nu se deosebeşte de nichelul pur în privinţa valorii lungirii relative, dar îl depăşeşte considerabil în privinţa valorii rezistivităţii. Din fig. 3.16 se vede că pierderile sînt mai scăzute decît la nichel. În plus, aliajul IO-14 este mai avantajos ca nichelul, pentru robusteţea lui mai mare.

În fig. 3.17 sînt arătate curbele care exprimă variaţia inducţiei şi lungirii relative în funcţie de intensitatea cîmpului (măsurările au fost verificate pe epruvete prelucrate la cald, tăiate din tablă de aliaj IO-14, pe direcţia de laminare).

În tabela 3.2 sînt date proprietăţile magnetice ale aliajului IO-14. Ele au fost obţinute după prelucrarea termică finală a acestuia conform următorului regim: încălzire pînă la 750°C; menţinerea timp de o oră pentru recoacerea de recristalizare şi îndepărtarea urmelor prelucrării la rece; răcirea de la 750 pînă la 600°C cu viteză arbitrară; răcirea cu o viteză medie de 25 grade/h (în intervalul de la 600 pînă la 250°C); răcirea cu cuptorul în funcţiune, pînă la temperatura camerei.

Aliajele K49Ф2 şi K-65. Aliajul K49Ф2 se deosebeşte prin faptul că este sfărîmicios după recoacere (această caracteristică este adesea eliminată prin călire). Aliajul K-65 nu este sfărîmicios, în schimb are rezistivitate scăzută (de 3 ori mai mică decît la aliaje K49 Ф 2). Forţa coercitivă este de aproape două ori mai mare decît la aliaje K49 Ф 2.

Datorită acestui fapt, în condiţii de lucru identice, aliajul K-65 prezintă pierderi prin histerezis mai mari decît aliajul K49 Ф 2. În fig. 3.18 sînt comparate pierderile prin histerezis, în funcţie de inducţie, pentru aliajele K-65 şi K49 Ф 2 la frecvenţele de 10 000 şi 20 000 Hz. În fig. 3.19 este reprezentată inducţia magnetică în funcţie de valoarea eficace a cîmpului magnetic, la frecvenţele de 10 şi 20 kHz, pentru aliajele K-65 şi K49 Ф 2. Datele au fost obţinute după prelucrarea termică finală, care constă dintr-o încălzire la 850°C pentru recoacerea de recristalizare şi îndepărtarea urmelor de prelucrare la rece, urmată de răcirea lentă ulterioară cu viteză medie de 50 grade/h (pentru aliajul K-65 viteza de răcire poate fi mărită pînă la 100 grade/h).

În fig. 3.20 sînt arătate curbe care exprimă variaţia inducţiei magnetice şi lungirii relative, în funcţie de intensitatea cîmpului, pentru epruvete de aliaj

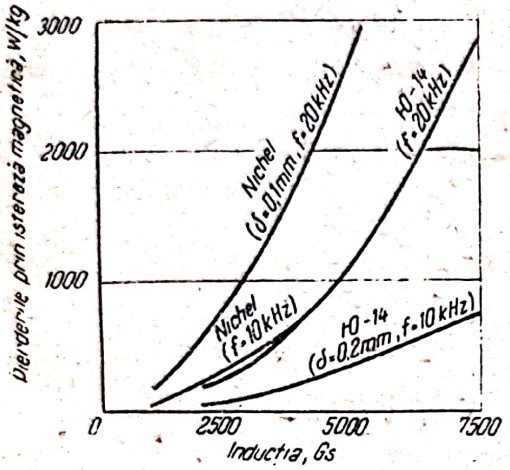


Fig. 3.16. Pierderile prin histerezis magnetic la nichel și aliajul IO-14.

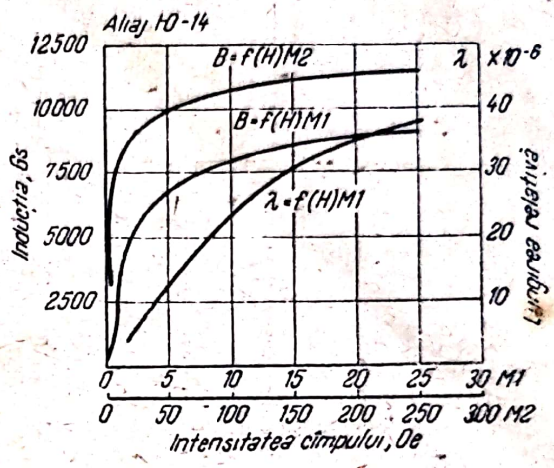


Fig 3.17. Variația inducției și a lungirii relative în funcție de intensitatea cîmpului magnetic pentru aliajul IO-14.

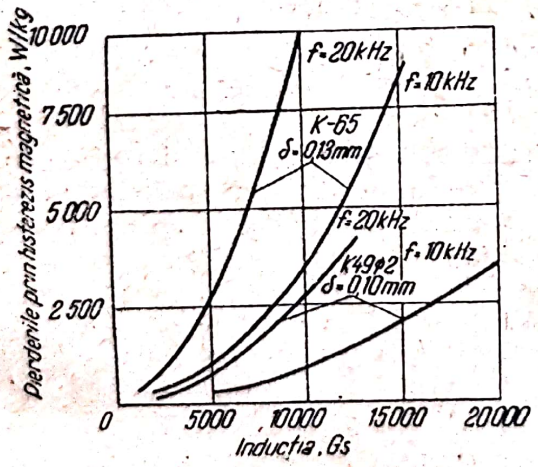


Fig. 3.18. Pierderile prin histerezis magnetic la aliajele K49Φ2 și K-65.

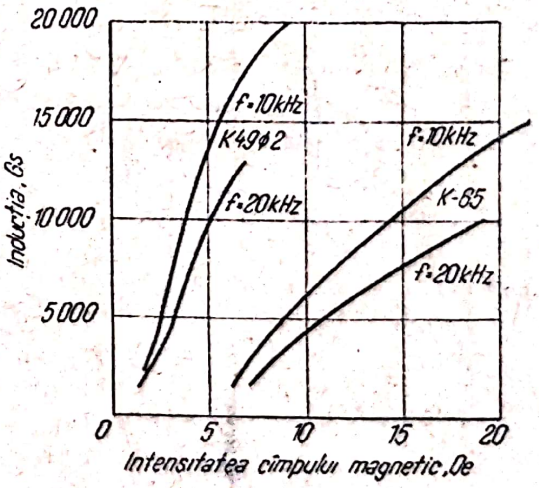
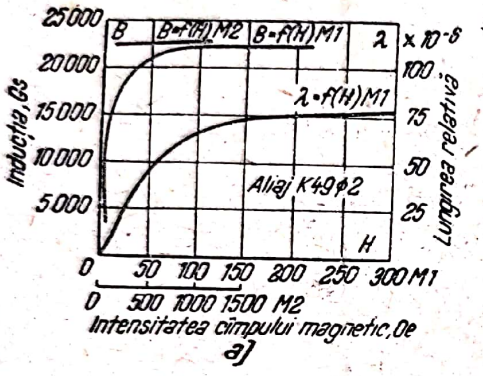


Fig. 3.19. Variația inducției în funcție de valoarea eficace a cîmpului magnetic pentru aliajele K49Φ2 și K-65.

Scanned with OKEN Scanner

K49Ф2 şi K-65 (epruvetele au fost tăiate din tablă şi supuse prelucrării termice menţionate mai sus, prelucrare care se face în vid sau într-un curent de hidrogen uscat şi purificat). La tablele din aliaje magnetostrictive se constată întotdeauna o anizotropie a proprietăţilor magnetice. Ca exemplu, în fig. 3.21 este arătată anizotropia efectului de magnetostricţiune într-o tablă din aliaj K-65. Cea mai mare valoare a intensităţii efectului magnetostrictiv se manifestă sub un unghi de 45° faţă de direcţia de laminare,



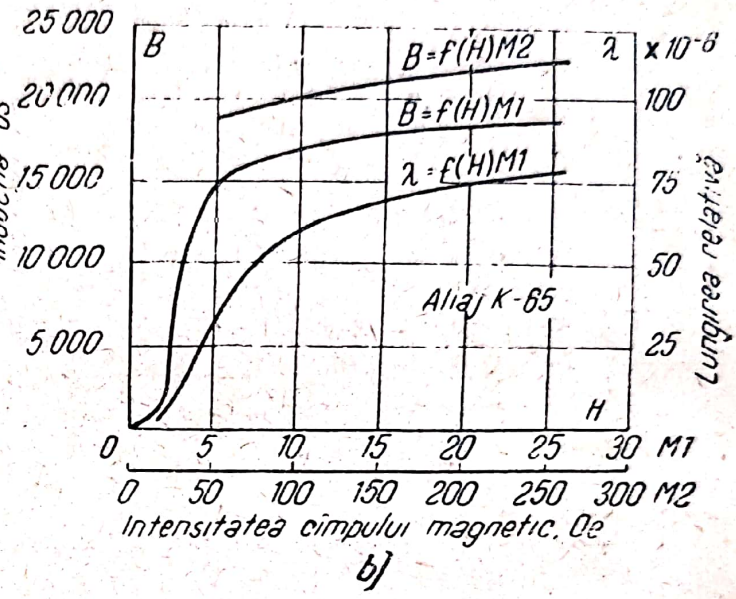


Fig. 3.20. Variaţia inducţiei şi lungirii relative în funcţie de intensitatea cîmpului magnetic: *a* — pentru aliaj K49Ф2; *b* — pentru aliaj K-65.

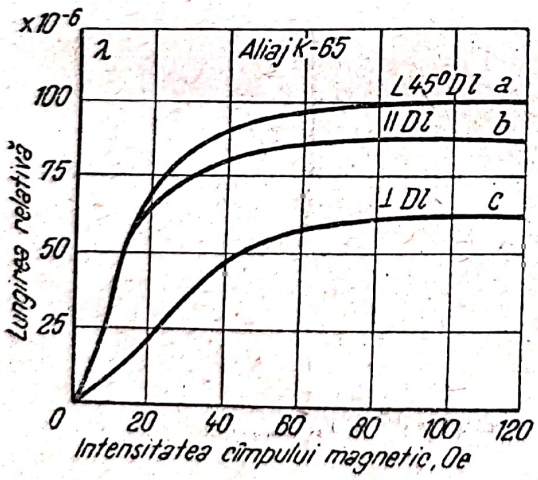


Fig. 3.21. Anizotropia lungirii relative la table din aliaj K-65:

a — la 45° faţă de direcţia laminării; *b* — paralel în direcţia laminării; *c* — perpendicular pe direcţia laminării.

iar valoarea minimă, pe o direcţie perpendiculară pe direcţia de laminare. La aliajele K49Ф2 şi Ю-14 anizotropia are acelaşi caracter. Din această cauză, pentru obţinerea celor mai mari valori ale lungirii relative, posibile la aceste materiale, decuparea tolelor pentru vibratoarele magnetostrictive se face în aşa fel, încît axa longitudinală a unei tole să coincidă cu o direcţie care face un unghi de 45° cu direcţia de laminare a tablei, sau să fie paralelă cu direcţia de laminare.

Construcţia şi calculul elementelor magnetostrictive. *Vibratoarele în formă de bară (tubulare)* sînt confecţionate din ţevi standard de nichel (sau alt material magnetostrictiv), care au grosimea pereţilor de la 1 pînă la 1,5 mm şi diametrul interior al ţevii cuprins între 10 şi 50 mm. Uneori, vibratoarele în formă de bară sînt făcute dintr-o vergea de material magnetostrictiv, de acelaşi diametru (de pildă, pentru instalaţiile de protecţie împotriva depunerii pie-

trei în cazane). Această construcţie este însă mai puţin avantajoasă, deoarece cresc pierderile cauzate de curenţii turbionari. Vibratoarele în formă de bară sînt folosite mai ales pe frecvenţele cuprinse între 2 şi 20 kHz; pentru frecvenţele mai înalte nu este raţional să se fabrice asemenea vibratoare, deoarece o dată cu creşterea frecvenţei se micşorează apreciabil lungimea barei şi apar dificultăţi constructive legate de amplasarea conductorului de bobinare etc.

Lungimea vibratorului în formă de bară, care oscilează pe frecvenţa fundamentală, este egală cu jumătate din lungimea de undă. Pe armonice, lungimea barei este egală cu un număr întreg de semiunde.

Frecvenţa proprie fundamentală a vibraţiilor elastice ale unei bare de lungime l, fixată la mijloc, se determină din expresia

$$f = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{E}{\rho}},$$

în care: E este modulul de elasticitate, dine/cm^2;
ρ — densitatea materialului barei, g/cm^3.

Lungimea barei, pentru frecvenţa impusă, poate fi determinată cu formula

$$l = \frac{k}{2f} \cdot C,$$

în care: l este lungimea barei, cm;
k — ordinul armonicei;
f — frecvenţa, Hz;
C — viteza sunetului în materialul din care este confecţionată bara, cm/s.

Cînd se lucrează pe prima armonică, $l = C/2f$.

În fig. 3.22 sînt reprezentate graficele care exprimă variaţia frecvenţei de vibraţie a elementelor magnetostrictive în formă de bară, în funcţie de lun-

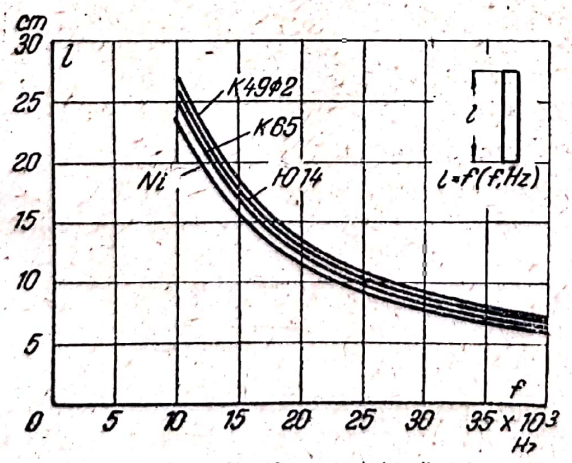


Fig. 3.22. Variaţia frecvenţei vibratoarelor magnetostrictive în formă de bară în funcţie de lungimea lor, pentru diverse materiale.

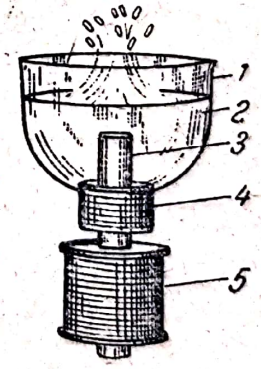


Fig. 3.23. Cel mai simplu tip de vibrator în formă de bară:

1 — vas; 2 — lichidul supus prelucrării; 3 — bară magnetostrictivă; 4 — fixare; 5 — bobină de excitaţie.

gimea lor, pentru materialele magnetostrictive menţionate mai sus. Folosind acest grafic, se poate determina uşor lungimea unui element magnetostrictiv în formă de bară, în funcţie de frecvenţa fundamentală prescrisă a vibraţiilor lui şi invers.

În timpul funcţionării lor, vibratoarele în formă de bară se încălzesc puternic, mai ales din cauza curenţilor turbionari. Pentru micşorarea pierderilor provocate de aceşti curenţi, bara este tăiată în lungul generatoarei. Acest lucru nu elimină însă în întregime încălzirea; de aceea, se prevede răcirea cu ajutorul unor curenţi de apă sau de ulei. Bobinajul de excitaţie (şi de premagnetizare) se înfăşoară pe o carcasă cilindrică confecţionată din material izolant, al cărei diametru interior este egal cu diametrul exterior al vibratorului în formă de bară. Lungimea acestei carcase este de obicei egală cu jumătate din lungimea vibratorului. Bara se introduce şi se fixează în interiorul bobinei.

Tipul cel mai simplu de vibrator în formă de bară este arătat în fig. 3.23. Pentru mărirea puterii se reunesc mai multe vibratoare în formă de bară, care debitează pe o singură sarcină comună în formă de placă.

Vibratoare inelare, sub forma unui pachet de tole (fig. 3.24) se confecţionează din tole de material magnetostrictiv, decupate conform unor dimensiuni anumite. Tolele inelare sînt asamblate într-un pachet de înălţimea necesară. Direcţia vibraţiilor elastice produse de un vibrator inelar în formă de pachet de tole este radială atît în interiorul inelului, cît şi în afara lui.

Dacă pe una dintre suprafeţele unui element magnetostrictiv inelar, cufundat într-un lichid, se creează o pernă de aer (de pildă lipind un strat de

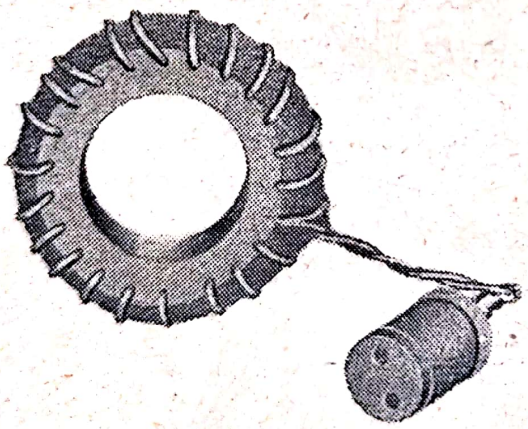


Fig. 3.24. Aspectul exterior al unui vibrator magnetostrictiv inelar de tipul pachet de tole.

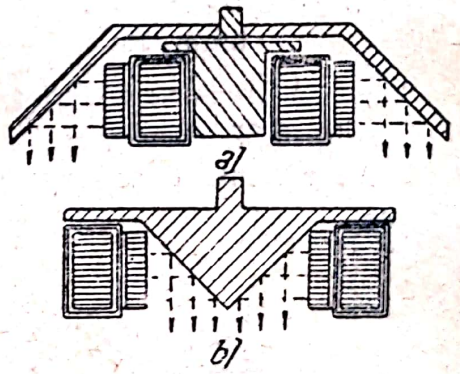


Fig. 3.25. Secţiune prin vibratoarele magnetostrictive inelare, cu fasciculul dirijat:
a — cu radiaţie prin suprafaţa exterioară a inelului; *b* — cu radiaţie prin suprafaţa interioară a inelului.

cauciuc poros), pe partea interioară sau cea exterioară a inelului se vor putea obţine unde ultrasonore dirijate pe direcţia dorită, opusă pernei de aer.

Vibratoarele în formă de inel îşi găsesc aplicaţii şi în construcţii. Aceste aplicaţii se bazează pe efectul de reflexie a ultrasunetelor. În fig. 3.25 este arătată construcţia unui asemenea sistem.

Scanned with OKEN Scanner

Vibratoarele inelare tip pachet de tole sînt utilizate de obicei pe frecvenţe din gama ultrasunetelor pînă la 80 kHz. Bobinajul de excitaţie se înfăşoară pe miezul în formă de inel al vibratorului, sau este aşezat în nişte crestături sau orificii speciale, practicate în pachetul de tole al vibratorului inelar (fig. 3.26).

Pentru calculul frecvenţei fundamentale a vibratorului inelar se poate folosi următoarea formulă

$$f = \frac{1}{2\pi r}\sqrt{\frac{E}{\rho}[1+(1-k)^2]} =$$

$$= \frac{C}{2\pi r}\sqrt{1+(1-k)^2},$$

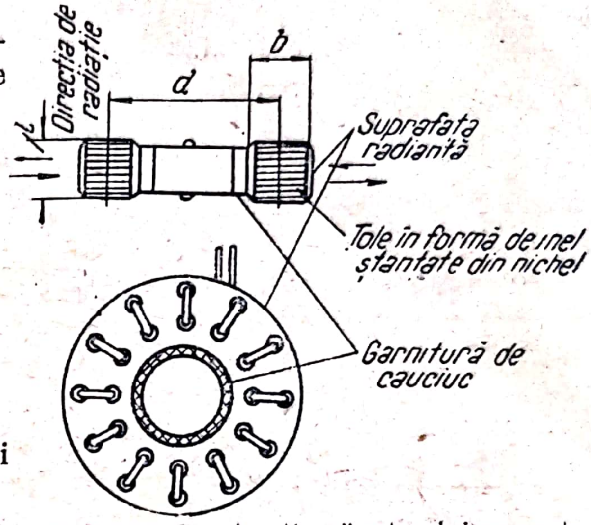


Fig. 3.26. Construcţia vibratorului magnetostrictiv inelar.

în care: r este raza medie a inelului;
E — modulul de elasticitate;
ρ — densitatea materialului inelului;
C — viteza de propagare a sunetului în acest material;
k — ordinul armonicei ($k=1, 2, 3\ldots$).

Dacă se lucrează pe frecvenţa fundamentală (armonica de ordinul întîi), raza medie a inelului este determinată de expresia

$$r = \frac{C}{2\pi f}.$$

Înălţimea b a pachetului de tole al vibratorului în formă de inel trebuie să fie mult mai mică decît lungimea de undă λ în materialul din care este confecţionat inelul. Numai în acest caz se asigură funcţionarea normală a elementului magnetostrictiv. În fig. 3.27 este reprezentată variaţia razei medii a

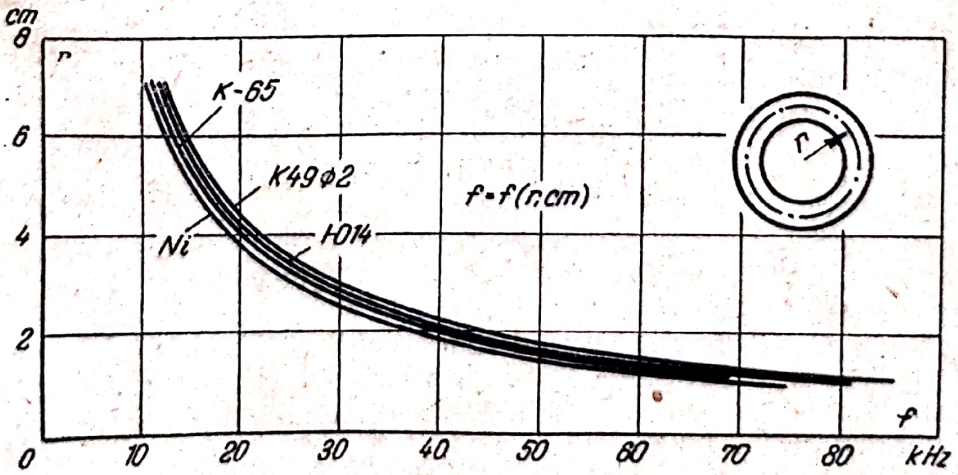


Fig. 3.27. Variaţia razei medii a vibratoarelor magnetostrictive inelare de tipul pachet de tole, în funcţie de frecvenţa vibraţiilor emise de ele pentru diverse materiale.

vibratorului în formă de inel, în funcţie de frecvenţă, pentru diferite materiale magnetostrictive.

Vibratoarele plane sub formă de pachet (fig. 3.28) sînt confecţionate de regulă din tole de material magnetostrictiv, decupate conform dimensiunilor prescrise.

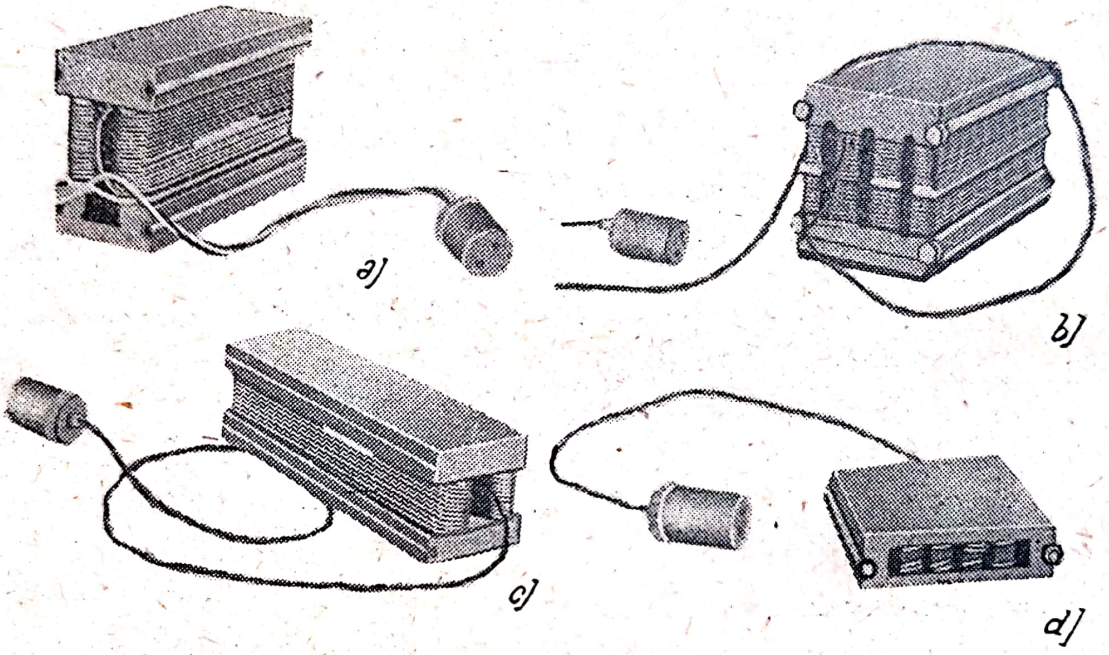


Fig. 3.28. Aspectul exterior al modelelor industriale de vibratoare magnetostrictive plane realizate sub formă de pachet de tole:
a — pentru frecvenţa de 16 kHz; *b* — pentru frecvenţa de 22 kHz; *c* — pentru frecvenţa de 44 kHz; *d* — pentru frecvenţa de 80 kHz.

Tolele decupate sînt asamblate într-un pachet de grosimea necesară. Vibratoarele plane tip pachet constituie cel mai răspîndit tip de elemente magnetostrictive. Ele sînt utilizate în prezent în gama de frecvenţe cuprinsă între frecvenţele sonore joase şi cele ultrasonore înalte (aproximativ 8—100 kHz).

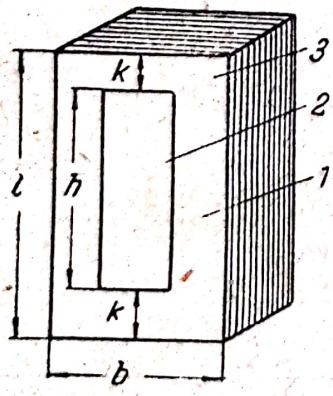


Fig. 3.29. Vibrator magnetostrictiv cu două coloane realizat sub formă de pachet de tole.

Vibratoarele plane tip pachet se confecţionează cu o singură coloană şi cu mai multe coloane (2, 3, 4 etc.). Calculul dimensiunilor geometrice ale vibratoarelor plane cu o singură coloană este asemănător cu calculele referitoare la elementele magnetostrictive în formă de bară, descrise mai sus.

Vibratoarele cu mai multe coloane (fig. 3.29) prezintă unele deosebiri condiţionate de existenţa, în afară de bara *1*, a ferestrei *2* şi a capului (adaosului) *3*. De aceea, calculul dimensiunilor geometrice ale vibratoarelor plane tip pachet de tole, cu mai multe coloane, se face cu o formulă care ţine seama de aceste particularităţi.

Pentru calculul dimensiunilor geometrice ale unui vibrator plan tip pachet de tole (de pildă cu 2 coloane)

notăm piesele lui componente în felul următor: lăţimea capului — b, grosimea lui — k şi înălţimea coloanei — h. Înălţimea totală l a vibratorului se va determina adunînd lungimea coloanei cu cele două grosimi ale capetelor: $l=h+2k$.

Pentru un vibrator plan, tip pachet de tole, cu mai multe coloane, frecvenţa fundamentală a vibraţiilor se determină cu formula următoare:

$$f=\frac{1}{2l}\sqrt{\frac{E}{\rho\left(1+\frac{b}{2l}\right)}},$$

în care b şi l sînt dimensiunile vibratorului (fig. 3.29).

Vibratoarele plane, tip pachet de tole, cu mai multe coloane, pot fi reprezentate ca un sistem format din 2, 3 sau mai multe bare separate, încărcate la ambele capete cu nişte mase suplimentare. Datorită acestui fapt, frecvenţa unui vibrator plan, tip pachet de tole, se dovedeşte a fi ceva mai mică decît a unui vibrator în formă de bară, de lungime egală. Pentru a face mai comod calculul lungimii vibratoarelor plane tip pachet, din formula dată mai sus se poate obţine o ecuaţie pentru determinarea lungimii l a vibratorului tip pachet:

$$l^2+\frac{b}{2}l-\frac{C^2}{4f^2}=0,$$

în care: l este înălţimea vibratorului, cm;
f — frecvenţa, Hz;
C — viteza de propagare a undei elastice în materialul vibratorului, cm/s;
b — dimensiunea unei laturi a suprafeţei radiante, cm.

Rezolvînd ecuaţia menţionată, obţinem:

$$l=-\frac{b}{4}\pm\sqrt{\frac{b^2}{16}+\frac{C^2}{4f^2}}.$$

În practică, determinarea frecvenţei vibraţiilor şi a înălţimii miezurilor plane tip pachet de tole se face cu ajutorul unor grafice. Ca exemplu, în fig. 3.30 este reprezentat graficul care exprimă variaţia lungimii în funcţie de frecvenţă, pentru un miez alcătuit din diferite materiale magnetostrictive.

Este necesar să se aibă în vedere că la alegerea dimensiunilor geometrice ale pachetului de tole este op-

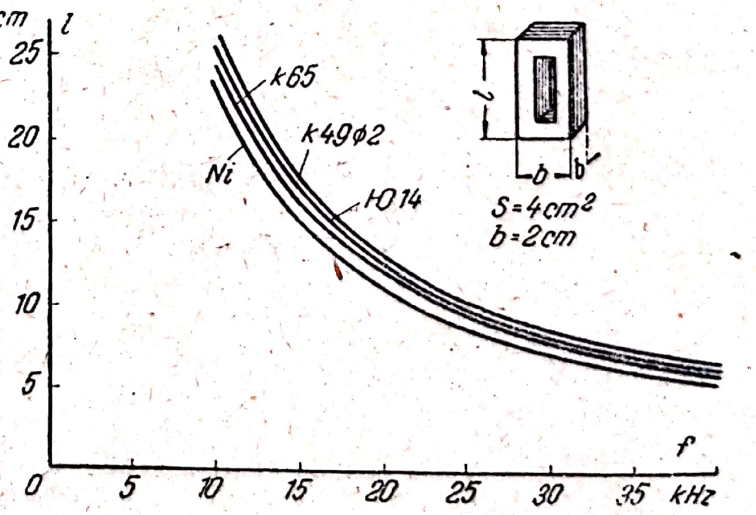


Fig. 3.30. Variaţia lungimii vibratoarelor magnetostrictive plane cu mai multe coloane, realizate sub formă de pachet de tole, în funcţie de frecvenţa vibraţiilor emise de ele, pentru diverse materiale.

tim acel raport între lăţimea coloanelor şi a ferestrei, pentru care aria S_c a secţiunii coloanelor este egală cu aria S_f a secţiunii ferestrelor, adică $S_c/S_f = 1$.

În practică, de cele mai multe ori sînt necesare calcule referitoare la puterea acustică a vibratoarelor magnetostrictive plane, tip pachet, care funcţionează cu premagnetizare, în cazul cînd vibraţiile elastice sînt radiate dintr-o singură parte. Acest calcul se face cu următoarea formulă:

$$P_a = \frac{2\sigma^2 B_m^2 Q \beta \eta_M^2 \cos\left(\frac{2\pi t f}{C}\right) S \cdot 10^{-7}}{\rho V_0} \text{ [W]},$$

în care: σ este constanta de magnetostricţiune;

B_m — valoarea de vîrf a componentei alternative a inducţiei magnetice, Gs;

Q — aria secţiunii transversale a coloanelor vibratorului, cm^2;

η_M — randamentul acustico-mecanic, care determină a cîta parte din energia mecanică a elementului magnetostrictiv cu o suprafaţă radiantă se transformă în energie acustică; în mod obişnuit se admite că η_M este egal cu 0,6—0,7;

t — grosimea jugului transversal al pachetului, cm;

C — viteza sunetului în materialul elementului magnetostrictiv, cm/s;

f — frecvenţa vibraţiilor, Hz;

ρ — densitatea mediului în care are loc radiaţia, g/cm^3;

V_0 — viteza sunetului în mediul în care are loc radiaţia, cm/s;

S — aria suprafeţei radiante a elementului magnetostrictiv, cm^2;

$\beta = \frac{Q}{S}$ — coeficientul de transformare mecanică, care defineşte raportul dintre aria secţiunii transversale a coloanelor vibratorului şi aria suprafeţei radiante a elementului magnetostrictiv.

Particularităţile fabricării elementelor magnetostrictive. La fabricarea vibratoarelor magnetostrictive, decuparea tolelor de forma şi dimensiunile necesare se face din material în formă de tablă (cu grosimea de 0,05—0,1 mm), la fel cu decuparea tolelor pentru transformatoarele obişnuite.

Această decupare se face în aşa fel, încît direcţia liniilor de forţă magnetică să coincidă sau să facă un unghi de 45° cu direcţia de laminare.

Pentru micşorarea pierderilor cauzate de curenţii turbionari, la asamblarea pachetelor de tole ale elementelor magnetostrictive, tolele sînt recoapte şi izolate electric una de alta (în materialul recopt, pierderile provocate de curenţii turbionari şi de histerezis sînt mai mici decît la materialul care nu a fost supus unei recoaceri şi pentru atingerea saturaţiei este necesar un număr mai mic de amperspire, corespunzător unei valori mari a inducţiei de saturaţie). Recoacerea elimină de asemenea deformaţiile remanente şi întărirea materialului,

Scanned with OKEN Scanner

tim acel raport între lăţimea coloanelor şi a ferestrei, pentru care aria S_c a secţiunii coloanelor este egală cu aria S_f a secţiunii ferestrelor, adică $S_c/S_f = 1$.

În practică, de cele mai multe ori sînt necesare calcule referitoare la puterea acustică a vibratoarelor magnetostrictive plane, tip pachet, care funcţionează cu premagnetizare, în cazul cînd vibraţiile elastice sînt radiate dintr-o singură parte. Acest calcul se face cu următoarea formulă:

$$P_a = \frac{2\sigma^2 B_m^2 Q \beta \eta_M^2 \cos\left(\frac{2\pi t f}{C}\right) S \cdot 10^{-7}}{\rho V_0} \text{ [W]},$$

în care:

σ este constanta de magnetostricţiune;

B_m — valoarea de vîrf a componentei alternative a inducţiei magnetice, Gs;

Q — aria secţiunii transversale a coloanelor vibratorului, cm^2;

η_M — randamentul acustico-mecanic, care determină a cîta parte din energia mecanică a elementului magnetostrictiv cu o suprafaţă radiantă se transformă în energie acustică; în mod obişnuit se admite că η_M este egal cu 0,6—0,7;

t — grosimea jugului transversal al pachetului, cm;

C — viteza sunetului în materialul elementului magnetostrictiv, cm/s;

f — frecvenţa vibraţiilor, Hz;

ρ — densitatea mediului în care are loc radiaţia, g/cm^3;

V_0 — viteza sunetului în mediul în care are loc radiaţia, cm/s,

S — aria suprafeţei radiante a elementului magnetostrictiv, cm^2,

$\beta = \frac{Q}{S}$ — coeficientul de transformare mecanică, care defineşte raportul dintre aria secţiunii transversale a coloanelor vibratorului şi aria suprafeţei radiante a elementului magnetostrictiv.

Particularităţile fabricării elementelor magnetostrictive. La fabricarea vibratoarelor magnetostrictive, decuparea tolelor de forma şi dimensiunile necesare se face din material în formă de tablă (cu grosimea de 0,05—0,1 mm), la fel cu decuparea tolelor pentru transformatoarele obişnuite.

Această decupare se face în aşa fel, încît direcţia liniilor de forţă magnetică să coincidă sau să facă un unghi de 45° cu direcţia de laminare.

Pentru micşorarea pierderilor cauzate de curenţii turbionari, la asamblarea pachetelor de tole ale elementelor magnetostrictive, tolele sînt recoapte şi izolate electric una de alta (în materialul recopt, pierderile provocate de curenţii turbionari şi de histerezis sînt mai mici decît la materialul care nu a fost supus unei recoaceri şi pentru atingerea saturaţiei este necesar un număr mai mic de amperspire, corespunzător unei valori mari a inducţiei de saturaţie). Recoacerea elimină de asemenea deformaţiile remanente şi întărirea materialului,

Scanned with OKEN Scanner

rezultate în urma laminării şi decupării. Acest lucru uşurează îndreptarea pachetelor de tole, ceea ce are o importanţă apreciabilă pentru funcţionarea eficace a vibratoarelor.

În mod obişnuit, pentru egalizarea în pachet a tolelor care nu au fost recoapte trebuie făcută în prealabil lipirea cu clei şi apoi uscarea pachetului bine strîns. Această operaţie nu dă întotdeauna rezultate bune. Lipirea sub formă de pachet a unor tole recoapte în prealabil se face mult mai simplu şi dă rezultate mai bune.

Tolele de formă prescrisă se ştanţează de obicei din material în formă de tablă sau sînt prelucrate prin frezarea unui pachet compact de tole din materialul care nu a fost recopt. Găurile pentru şuruburile de strîngere, dacă nu se poate evita acest lucru, sînt practicate în tole sau în pachete, tot înainte de recoacere. Pregătirea pentru recoacerea pachetelor de tole ale vibratoarelor magnetostrictive se face, în majoritatea cazurilor, în modul următor. Se degresează şi se usucă cu grijă tolele. După aceea, tolele presărate cu talc sînt asamblate într-un pachet de dimensiunile prescrise şi sînt strînse puternic între două platbande de oţel, cu ajutorul unor şuruburi de oţel (nu este permisă folosirea unor materiale din metale neferoase, sau care se topesc uşor). Recoacerea se efectuează conform metodicii descrise mai sus.

Pentru izolarea electrică a tolelor una de alta, pe suprafaţa lor se depune un strat de izolaţie special. Dacă pachetul este asamblat din tole recoapte, stratul izolant pentru ele este pelicula de oxid care se formează pe suprafaţa unor materiale ca rezultat al recoacerii. Aceste pelicule de oxid constituie o izolaţie absolut perfectă. Pe tolele de nichel pelicula de oxid se formează uşor prin introducerea, în cazul recoacerii în vid sau în atmosferă de hidrogen, a unei mici cantităţi de aer în cuptor, la sfîrşitul recoacerii, sau prin încălzirea în aer a tolelor, pînă la 550, 600°C. În acest caz nu este necesară nici un fel de izolaţie suplimentară între tole. Astfel, vibratoarele magnetostrictive în formă de pachet, confecţionate din nichel şi livrate de industria sovietică, de tipurile НЭЛ-IV şi НЭЛ-V, au fost fabricate fără lipire cu clei, cu pelicula de oxid de pe plăci obţinută ca rezultat al prelucrării termice a nichelului.

Unele materiale magnetostrictive (de tipul aliajelor fiercobalt) nu formează — atunci cînd sînt încălzite — o peliculă de oxid suficient de solidă; de aceea, pentru izolarea tolelor se foloseşte acoperirea lor cu lacuri electrotehnice tip 202 sau 203. Acoperirile de lac se distrug adesea în timpul funcţionării vibratorului, iar izolaţia dintre tole este afectată. Un material mult mai bun pentru izolarea tolelor şi, simultan, pentru lipirea lor, este cleiul БФ-2.

În cazul ungerii cu clei a tolelor şi al lipirii lor sub formă de pachet, cantitatea de clei trebuie să fie minimă. La asamblarea pachetelor, tolele exterioare (marginale) se confecţionează din acelaşi material ca şi restul tolelor din pachet, dar de grosime mai mare. Mărirea grosimii tolelor marginale este necesară pentru o distribuţie mai uniformă a eforturilor de strîngere, pe întreaga suprafaţă a vibratorului. Grosimea tolelor marginale este aleasă de obicei între 0,5 şi 2 mm, în funcţie de frecvenţa vibraţiilor. La frecvenţe mai înalte se utilizează grosimi mai mici. Dacă strîngerea pachetelor se face cu ajutorul unor şuruburi sau buloane de oţel, ele trebuie să aibă o izolaţie care să excludă po-

sibilitatea scurtcircuitării tolelor din pachet. Dacă tolele vibratoarelor magnetostrictive nu sînt lipite, pentru strîngerea pachetelor se folosesc bandaje de sîrmă, cum se întîmplă — de pildă — la vibratoarele magnetostrictive de tipurile НЭЛ-IV şi НЭЛ-V. În acest scop, pachetele asamblate prin presare sînt legate cu sîrmă de cupru cositorită, iar după aceea bandajul este lipit cu aliaj de lipit ПОС-40. Suprafeţele frontale de lucru ale vibratorului magnetostrictiv se lustruiesc după asamblare.

Bobinajul de pe pachetul de tole al vibratorului magnetostrictiv este făcut din sîrmă de bobinaj ПВ avînd diametrul de 1,5—2 mm şi izolaţia de policlorură de vinil. Pentru distribuţia uniformă a fluxului magnetic pe întreaga secţiune a pachetului de tole bobinajele de pe toate coloanele sînt confecţionate dintr-o singură sîrmă, prin metoda înfăşurării în „opt" (fig. 3.31). În acest caz cîmpurile magnetice care iau naştere în coloanele vibratorului magnetostrictiv se vor aduna.

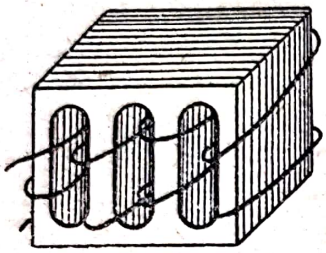


Fig. 3.31. Schema bobinajului unui vibrator magnetostrictiv realizat sub formă de pachet de tole cu mai multe coloane.

Premagnetizarea vibratoarelor magnetostrictive cu un cîmp magnetic continuu se realizează de regulă cu un curent continuu aplicat unui bobinaj separat sau bobinajului de excitaţie al vibratorului. În ultimul caz, care este cel mai des întîlnit în practică, se iau măsuri de protecţie împotriva pătrunderii curentului alternativ în redresorul de premagnetizare şi a curentului continuu la ieşirea generatorului. În acest scop se folosesc elemente separatoare: condensatoare conectate la generator şi bobine de şoc la redresorul de premagnetizare.

Pentru premagnetizarea vibratoarelor magnetostrictive de putere mică şi mijlocie se utilizează uneori magneţi permanenţi sau electromagneţi separaţi, între polii cărora se amplasează vibratorul magnetostrictiv.

Elemente de calcul practic al regimului de funcţionare electromagnetic al vibratoarelor magnetostrictive. Calculul regimului de funcţionare electromagnetic al vibratoarelor magnetostrictive cuprinde determinarea numărului de spire şi a secţiunii conductorului folosit pentru bobinarea vibratorului magnetostrictiv, precum şi determinarea valorilor curenţilor de excitaţie şi de premagnetizare.

Analiza completă şi calculul regimului electromagnetic de funcţionare a vibratorului magnetostrictiv sînt expuse în literatura de specialitate. Calculele de acest fel sînt însă extrem de complicate şi nu concordă întotdeauna satisfăcător cu rezultatele obţinute în practică. În mod obişnuit, rezultatele obţinute prin calcul sînt folosite numai drept date iniţiale pentru alegerea empirică a parametrilor necesari. De aceea, în acest scop se pot folosi calcule simplificate ale principalelor elemente care determină regimul de funcţionare electromagnetic al vibratoarelor magnetostrictive.

Pentru efectuarea calculelor este necesar în primul rînd să se stabilească puterea electrică ce trebuie aplicată vibratorului pentru a se obţine, ţinînd seama şi de pierderi, valoarea prescrisă a puterii sonore. Pentru calculul apro-

Scanned with OKEN Scanner

ximativ, vom admite că valoarea globală a pierderilor de putere, care se compune din pierderile datorită efectului de histerezis, curenţilor turbionari şi frecării, poate fi exprimată prin intermediul randamentului electroacustic, care depinde de randamentul electromecanic şi de randamentul mecanic-acustic, adică

$$\eta_{ea} = \eta_{em}\ \eta_{ma},$$

unde η_{em} determină randamentul de transformare a energiei electrice în energie mecanică, iar η_{ma} determină randamentul de transformare a energiei mecanice în energie acustică.

Pentru vibratoarele magnetostrictive, valoarea lui η_{ea} (după datele lui L. Bergmann) este cuprinsă între 0,55 şi 0,40 pentru frecvenţe de la 20 pînă la 100 kHz şi scade o dată cu creşterea frecvenţei.

În consecinţă, puterea electrică aplicată vibratorului pentru obţinerea valorii necesare a puterii acustice se determină cu formula

$$P_{ex} = \frac{P_{ac}}{\eta_{ea}}.$$

La rîndul ei, puterea acustică P_{ac} se găseşte cu formula

$$P_{ac} = \frac{a^2 B^2 S_1^2}{\rho C S^2} \cos^2 kl,$$

în care: S_1 este aria secţiunii transversale a vibratorului, cm^2;
S — aria suprafeţei radiante, cm^2.

Pentru radiaţia bidirecţională, valoarea obţinută pentru puterea acustică P_{ac} trebuie înmulţită cu pătratul randamentului mecanic-acustic, deci $P_{ac}\eta_{am}^2$. Pentru radiaţia unidirecţională valoarea P_{ac} obţinută este necesar să fie înmulţită cu dublul valorii pătratului randamentului mecanic-acustic, adică $P_{ac} \cdot 2\eta_{am}^2$.

În cazul radiaţiei bidirecţionale, valoarea lui η_{ma} se determină cu formula

$$\eta_{ma} = \left[1 + \frac{R \cos^2 kl}{\rho C}\right];$$

$$k = \frac{\omega}{C} = \omega \sqrt{\frac{\rho}{E}},$$

în care l este grosimea jugului transversal, cm.

Valoarea randamentului mecanic-acustic pentru radiaţia unidirecţională este determinată de expresia

$$\eta'_{ma} = \frac{\eta_{ma}}{2 - \eta_{ma}}.$$

După calculul lui P_{ex}, pe baza formulelor date mai sus, calculul ulterior se face în ordinea următoare.

Valoarea tensiunii de lucru poate fi impusă pornind de la considerente constructive, care ţin seama de asigurarea unei exploatări nepericuloase a vibra-

Scanned with OKEN Scanner

torului magnetostrictiv (în mod orientativ, această valoare nu depăşeşte 200—300 V).

După aceea determinăm numărul de spire cu formula

$$N = \frac{U \cdot 10^8}{4{,}44\, fBS},$$

în care: U este valoarea tensiunii de lucru, V;
f — frecvenţa tensiunii de alimentare, Hz;
B — inducţia magnetică alternativă pentru care are loc saturaţia materialului vibratorului magnetostrictiv,[1]) Gs (se alege din grafic);
S — aria globală a secţiunii transversale a coloanelor vibratorului, cm^2.

Curentul de excitaţie al vibratorului magnetostrictiv se determină din ecuaţia

$$P_{ex} = I_{ex}\, U \cos \varphi \qquad [W];$$

admiţînd — pentru calcul — că factorul cos φ este apropiat de unitate (de ordinul 0,85—0,95), obţinem:

$$P_{ex} = I_{ex}\, U,$$

de unde rezultă

$$I_{ex} = \frac{P_{ex}}{U} \qquad [A].$$

Valoarea curentului de premagnetizare este proporţională cu numărul de amperspire de premagnetizare şi invers proporţională cu numărul de spire ale bobinajului vibratorului. Ea se determină cu formula

$$I_p = \frac{F}{1{,}4\, N}.$$

Forţa magnetomotoare F se determină cu formula

$$F = 0{,}8\, H_0 l,$$

în care: l este lungimea medie a liniei de forţă magnetică, determinată pe baza dimensiunilor geometrice ale vibratorului;
H_0 — intensitatea cîmpului magnetic, determinată pe graficul care reprezintă funcţia $H = B/\mu$; H_0 se alege pe grafice, în locul de îndoire a curbei, înainte de saturaţie.

Pentru determinarea secţiunii conductorului înfăşurării este necesar să se găsească suma curenţilor care circulă prin bobinajul vibratorului (în cazul cînd prin unul şi acelaşi bobinaj circulă curentul de excitaţie şi curentul de premagnetizare).

---

[1]) Inducţia magnetică alternativă se alege astfel încît, suprapusă peste componenta continuă a inducţiei magnetice, să aducă materialul magnetostrictiv în regiunea saturaţiei magnetice. De obicei, pentru nichel B=600 . . . 1 000 Gs. (Nota red. Ed. T.).

Suma acestor curenţi se determină (fără a lua în considerare pierderile) cu formula

$$I_{tot} = \sqrt{I_p^2 + I_{ex}^2}.$$

Înlocuind în formula de mai sus valorile lui I_p şi I_{ex}, găsim valoarea lui I_{tot}.

Alegerea conductorului cu izolaţie şi amplasarea lui pe vibratorul magnetostrictiv se fac printr-o metodă analogă cu cea expusă în capitolul referitor la vibratoarele electromagnetice.

Mai departe vom da un exemplu de calcul al elementelor circuitului electromagnetic al unui vibrator magnetostrictiv de tip Н ЭЛ-IV care are următori parametri: materialul, nichel; suprafaţa de radiaţie (într-o singură direcţie), $S = 64$ cm^2; aria globală a secţiunii transversală, $S_1 = 36$ cm^2; $f = 20$ kHz.

Determinarea puterii acustice a vibratorului se face cu formula

$$P_{ac} = \frac{a^2 B^2 S_1^2}{\rho C S^2} \cos^2 kl\, \eta^2.$$

Înlocuind valorile mărimilor care intervin în această formulă, obţinem

$$P_{ac} \approx 318 \text{ W}.$$

Determinarea puterii electrice necesare pentru excitaţia vibratorului magnetostrictiv se face cu formula

$$P_{ex} = \frac{P_{ac}}{\eta_{ea}}.$$

Înlocuind valorile mărimilor care intervin, obţinem

$$P_{ex} = 630 \text{ W}.$$

(valoarea $\eta_{ea} = 0{,}5$ este luată pe baza datelor lui Bergmann). Determinarea numărului de spire se face cu formula

$$N = \frac{U \cdot 10^8}{4{,}44 f B S_1};$$

înlocuind valorile mărimilor care intervin, se obţine

$$N = 6 \text{ spire}$$

(valoarea $U = 200$ V a fost luată pe baza condiţiilor de funcţionare).

Curentul de excitaţie se determină cu formula

$$I_{ex} = \frac{P_{ex}}{U}.$$

Înlocuind valoarea respectivă, obţinem

$$I_{ex} = 3{,}15 \text{ A}$$

Curentul de premagnetizare se calculează cu formula

$$I_p = \frac{F}{1{,}4 N},$$

în care $F = 0{,}8\, H_0\, l = 132$ Asp.

Curentul de premagnetizare va avea valoarea

$$I_p = 15{,}7 \text{ A.}$$

Curentul total care circulă prin bobinajul vibratorului magnetostrictiv se calculează cu formula

$$I_{tot} = \sqrt{I_p^2 + I_{ex}^2} \cdot$$

Înlocuind valorile mărimilor respective, obţinem

$$I_{tot} = 16 \text{ A.}$$

Determinarea secţiunii conductorului se face cu formula

$$S = \frac{I_{tot}}{j} \cdot$$

Înlocuind valorile mărimilor, obţinem

$$S = 6{,}4 \text{ mm}^2.$$

Diametrul conductorului se calculează cu expresia

$$D = 2\sqrt{\frac{S}{\pi}} \cdot$$

Înlocuind valorile mărimilor, obţinem

$$D = 2{,}8 \text{ mm (fără izolaţie).}$$

Trebuie să se menţioneze că dacă există răcire cu apă sau cu ulei a vibratorului magnetostrictiv, secţiunea conductorului poate fi întrucîtva micşorată.

În practică, după bobinarea vibratorului şi conectarea lui la generator, ajustarea definitivă a valorii numărului de spire, curentului de premagnetizare şi tensiunii de excitaţie se face experimental în funcţie de intensitatea maximă a vibraţiilor elementului magnetostrictiv.

Necesitatea corectării experimentale a numărului de spire, curentului de premagnetizare şi altor parametri se explică prin deosebirile apreciabile care există între proprietăţile magnetice ale materialelor magnetostrictive, variaţia considerabilă a acestor proprietăţi în procesul de fabricare a vibratoarelor magnetostrictive etc.

c) Descrierea, caracteristicile tehnice şi calculele principale ale elementului pasiv al vibratorului (transformatorul acustic al vibraţiilor elastice şi alte dispozitive de adaptare)

Generalităţi. Pentru transmiterea energiei ultrasunetelor de la vibratorul magnetostrictiv în mediul respectiv se folosesc următoarele dispozitive:

bare de secţiune constantă;
concentratoare exponenţiale cu secţiune circulară;
concentratoare exponenţiale cu secţiune dreptunghiulară (tip cuţit);
concentratoare cilindrice complexe, cu cavitate interioară;
transformatoare acustice cu pîlnie;
dispozitive acustice de adaptare de forma unor plăci şi transformatoare cu suprafaţă extinsă.

Drept materiale pentru transformatoarele acustice sînt folosite pe scara cea mai largă oţelul de diverse tipuri, uneori alama, precum şi alte metale neferoase. La alegerea materialului pentru fabricarea transformatoarelor acustice este necesar să se ţină seama de eforturile mecanice însemnate care provoacă

distrugerea metalului prin îmbătrînire, precum şi de acţiunea posibilă a unor medii agresive. Agresivitatea mediului are o mare influenţă asupra rezistenţei la cavitaţie a metalelor, îndeosebi a celor rezistente la coroziune. De exemplu, un transformator acustic confecţionat din oţel carbon 45 (conform datelor lui I. I. Kitaigorodski), în cazul funcţionării într-un mediu alcalin de concentraţie mică, după 100—150 ore de funcţionare, prezintă deteriorări vizibile în formă de inele în locurile unde au loc vibraţii de încovoiere intense. După 300—350 ore adîncimea porţiunilor deteriorate ajunge pînă la 3—4 mm şi transformatorul iese din funcţiune.

Acoperirile chimice, galvanice, cu lac şi alte cîteva acoperiri folosite în mod obişnuit nu asigură nici măcar o protecţie de scurtă durată a transformatorului confecţionat din oţel carbon împotriva distrugerii prin cavitaţie. De aceea, materialul cel mai indicat din punct de vedere practic pentru transformatoarele acustice este oţelul austenitic inoxidabil de tip 1×18H9T, care posedă o mare rezistenţă la coroziune (un grad conform scării GOST 5272-50). Acest oţel, chiar şi în cazul unei exploatări de lungă durată, nu se distruge sub acţiunea cavitaţiei şi a coroziunii.

Pentru protecţia împotriva coroziunii, în cazul răcirii în curent de apă pachetul de tole al vibratorului magnetostrictiv se acoperă de obicei cu un compound rezistent la umezeală, de tip ДГЛ-450.

În cele ce urmează se examinează transformatoare acustice tip pentru vibraţii elastice şi se expune metodica de calcul tehnic.

Calculul unui transformator acustic realizat sub forma unei bare de secţiune circulară constantă. Dacă este necesar ca energia vibraţiilor ultrasonore să fie transmisă în mediul exterior, fără concentrarea sau dispersarea ei (acest lucru este necesar atunci cînd pachetul de tole al vibratorului magnetostrictiv nu poate fi amplasat direct în mediul respectiv), se folosesc transformatoare de vibraţii elastice în formă de bare cu secţiune constantă.

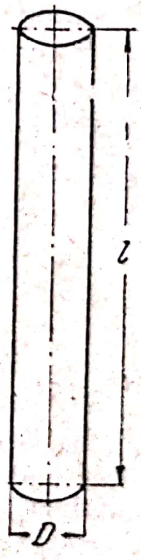


Fig. 3.32. Transformator acustic cu secţiune constantă a barei.

Aceste transformatoare se lipesc sau se sudează pe suprafaţa activă frontală a pachetului de tole magnetostrictiv şi constituie o parte componentă (pasivă) a vibratorului magnetostrictiv. În fig. 3.32 este arătat un transformator acustic cu bară de secţiune constantă.

Calculul unor asemenea transformatoare în formă de bară se face cu formula

$$l = \frac{nC}{2f},$$

în care: l este lungimea totală a transformatorului în formă de bară; cm;

f — frecvenţa, Hz;

C — viteza de propagare a vibraţiilor elastice într-o bară din materialul respectiv;

n se alege din considerente constructive (în mod obişnuit este egal cu 1, 2, 3, ...).

Numărul n reprezintă raportul dintre lungimea l a barei şi jumătatea lungimii de undă $\lambda/2$ a vibraţiilor elastice de frecvenţă dată din materialul barei

$$n = \frac{2l}{\lambda};$$

n se alege astfel ca pe întreaga lungime a barei transformatorului să încapă un număr întreg de alternanţe, adică un număr întreg de $\lambda/2$.

Pentru funcţionarea vibratoarelor magnetostrictive este adesea necesar să se determine locul nodului de viteză a vibraţiilor elastice, x_0, adică acel plan de pe bară unde materialul barei, suferind cele mai mari tensiuni, efectuează deplasări liniare minime. Găsirea acestui plan, după cum vom vedea mai departe, este necesară la rezolvarea problemei metodelor de fixare a vibratoarelor magnetostrictive în aparatajul tehnologic. Pentru transformatoarele cu secţiune constantă, planul nodului x_0 se găseşte cu formula $x_0 = l/2n$. De pildă, în cazul cînd lungimea l a barei este egală cu jumătate din lungimea de undă, locul nodului se determină din relaţia $x_0 = \lambda/2$. Planul nodului vibraţiilor este amplasat perpendicular pe axa x a concentratorului. Energia ultrasonoră transmisă în mediu de către suprafaţa activă a transformatorului în formă de bară cu secţiunea constantă este egală cu energia obţinută de acest transformator de la vibratorul magnetostrictiv, minus pierderile inevitabile de energie din bara însăşi. Dacă materialul este ales în mod judicios, pierderile din bară sînt relativ mici şi în mod obişnuit nu sînt luate în considerare la calculul acestor transformatoare.

Calculul unui transformator acustic realizat sub forma unei bare rotunde cu variaţia exponenţială a secţiunii. Transformatoarele acustice confecţionate sub forma unei bare rotunde cu variaţie exponenţială a secţiunii (concentratoare) reprezintă un corp la care aria secţiunii transversale — pe direcţia de propagare a vibraţiilor elastice — variază conform unei legi exponenţiale. Concentratoarele de acest fel şi-au găsit cele mai numeroase aplicaţii în industrie, de pildă la prelucrarea mecanică a materialelor solide. Aria secţiunii transversale a acestor concentratoare variază după legea:

$$S_x = S_0 \, e^{-\alpha x}.$$

Destinaţia principală a concentratoarelor constă în a mări amplitudinea vibraţiilor transmise de la vibratorul magnetostrictiv în mediul ambiant. Raportul amplitudinilor la cele două extremităţi ale concentratorului este invers proporţional cu rădăcina pătrată a raportului dintre secţiunea iniţială S_0 şi secţiunea finală S_l ale concentratorului, adică

$$\frac{A_l}{A_0} = \sqrt{\frac{S_0}{S_l}}.$$

Pentru calculul unui concentrator exponenţial trebuie sa se cunoască următoarele mărimi: frecvenţa f a ultrasunetelor, aria S_0 a secţiunii transversale — la intrarea concentratorului şi aria S_e la ieşirea lui, sau — respectiv — dia-

metrele lor D_0 şi D_l; numărul $n=2l/\lambda$; viteza C a sunetului în materialul barei.

Pentru calcul este necesar să se găsească coeficientul de amplificare al amplitudinilor k, definit ca rădăcina pătrată a raportului ariilor secţiunilor transversale terminale ale concentratorului, sau raportul diametrelor corespunzătoare:

$$k=\sqrt{\frac{S_0}{S_l}}=\frac{D_0}{D_l}.$$

Lungimea l a concentratorului se găseşte cu formula

$$l=\frac{nC}{2f}\sqrt{1+\left(\frac{\ln k}{\pi n}\right)^2}.$$

După aceea se calculează exponentul α cu formula

$$\alpha=\frac{2\cdot\ln k}{l}.$$

După calculul şi determinarea mărimilor k, l şi α, se calculează dimensiunile concentratorului, diametrele sau ariile secţiunilor transversale. Cînd se dau diametrele, se foloseşte formula

$$D_x=D_0e^{-\frac{\alpha x}{2}}.$$

Dacă se cunosc ariile secţiunilor transversale, se utilizează formula

$$S_x=S_0\cdot e^{-\alpha x}.$$

Găsirea dimensiunilor geometrice complete ale concentratorului se face pe cale grafică. În acest scop se alcătuieşte un desen (fig. 3.33), în care pe axa x se notează segmente egale luate arbitrar (de pildă din 2 în 2 mm sau din 5 în 5 mm). Prin acestea se trasează, sub un unghi de 90°, linii paralele care intersectează axa x. Pe aceste linii se notează valorile calculate ale diametrelor. Punctele extreme se unesc printr-o linie continuă, care constituie exponenţiala.

Poziţia planului nodal pentru un concentrator exponenţial, în cazul

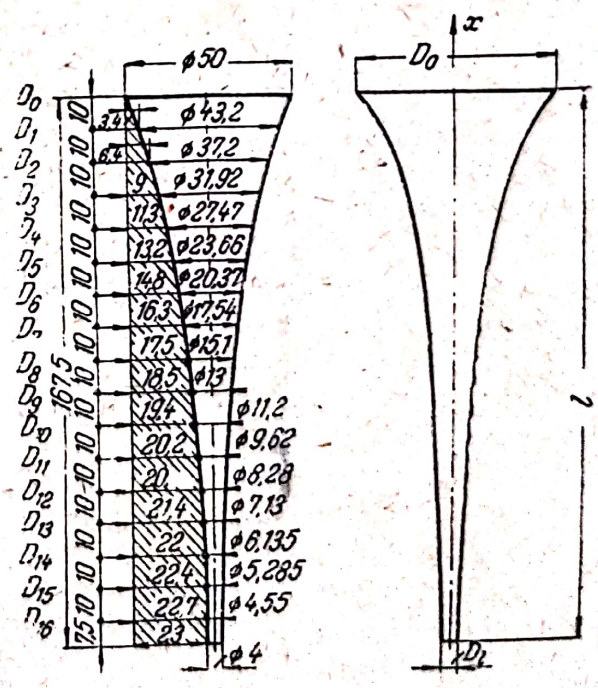


Fig. 3.33. Transformator acustic confecţionat sub forma unei bare rotunde cu variaţie exponenţială a secţiunii.

general (cînd concentratorul cuprinde alternanţe ale vibraţiilor), se determină cu formula

$$x_0 = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)^2 - \alpha^2}} \operatorname{arc\,tg} \frac{\sqrt{\left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)^2 - \alpha^2}}{\alpha},$$

de unde rezultă că determinarea locului nodului de viteze al vibraţiilor elastice, pentru un concentrator exponenţial cu lungimea egală cu $\lambda/2$ ($n=1$), se face cu următoarea formulă:

$$x_0 = \frac{l}{\pi} \cdot \operatorname{arc\,tg} \left(\frac{1}{\pi} \ln k\right).$$

Înlocuind valorile cunoscute ale lui l şi k, se obţine o valoare care determină planul nodului vibraţiilor, aşezat perpendicular pe axa x a concentratorului. Aceste date sînt trecute pe desen.

Calculul unui transformator acustic confecţionat sub forma unei bare dreptunghiulare, cu variaţia exponenţială a secţiunii (de tip cuţit). Pentru a concentra energia ultrasonoră într-un „plan" îngust şi lung se folosesc transformatoare acustice confecţionate sub forma unei bare dreptunghiulare cu variaţie exponenţială a secţiunii (fig. 3.34).

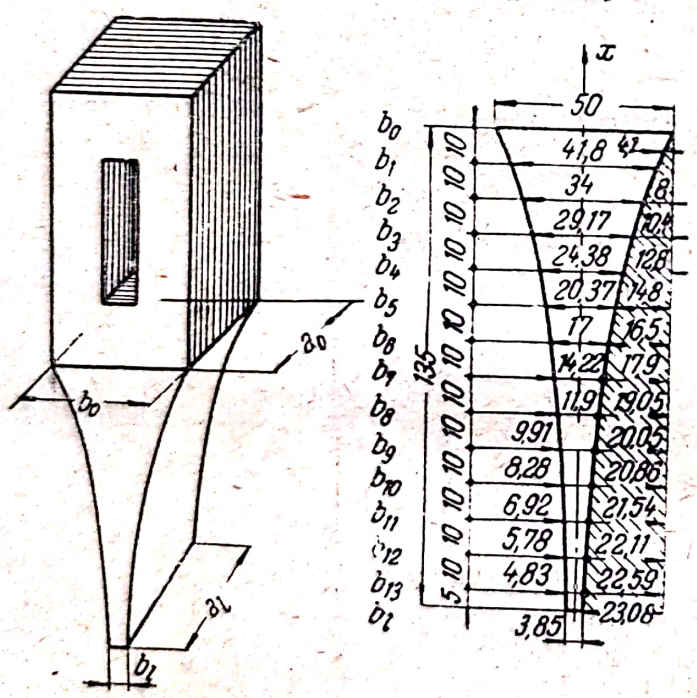


Fig. 3.34. Transformator acustic realizat sub forma unei bare dreptunghiulare cu variaţie exponenţială a secţiunii (de tip „cuţit").

Calculul unor asemenea concentratoare se face pe baza unei metodici analoge cu cea descrisă mai sus.

Pentru calculul dimensiunilor principale ale barei se dau în prealabil valorile a_0, b_0 şi a_l, b_l.

Valoarea coeficientului k, definită ca rădăcina pătrată a raportului ariilor secţiunii transversale a concentratorului la începutul şi la sfîrşitul acestuia, se calculează cu formulele

$$k = \sqrt{\frac{S_0}{S_l}} = \sqrt{\frac{a_0 \cdot b_0}{a_l \cdot b_l}}.$$

La majoritatea vibratoarelor magnetostrictive (de exemplu НЭЛ-IV, ПМС etc.), suprafaţa de radiaţie este de formă pătrată ($a_0 = b_0$). Dacă $a_0 = a_l$, formula pentru determinarea lui k va căpăta forma

$$k = \sqrt{\frac{b_0}{b_l}}.$$

Lungimea l a concentratorului se determină cu formula

$$l = \frac{nC}{2f}\sqrt{1+\left(\frac{\ln k}{\pi n}\right)^2}.$$

Exponentul α se calculează la fel ca în cazul concentratorului exponențial descris mai sus cu formula

$$\alpha = \frac{2\ln k}{l}.$$

Pentru cazul unei secțiuni inițiale pătrate a concentratorului se obține

$$b_x = b_0\, e^{-\alpha x},$$

unde: b_0 este dimensiunea inițială a laturii concentratorului, cm;

b_x — dimensiunea aceleiași laturi a concentratorului, la distanța x (cm) de latura b_0.

Construcția grafică a concentratorului și determinarea locului unde se găsește nodul de viteză se fac la fel ca mai sus.

Calculul unui transformator acustic realizat sub forma unei bare rotunde de secțiunea constantă cu cavitatea interioară de secțiune exponențială. Pentru diverse scopuri tehnologice, de exemplu în cazul prelucrării mecanice a materialelor solide, este adesea necesar să se concentreze energia ultrasonoră pe un contur oarecare. În acest scop se utilizează transformatoare acustice cu o cavitate interioară, de formă adecvată.

În partea interioară, acestea au o formă corespunzătoare configurației produsului obținut. În fig. 3.35, este arătat un concentrator care servește la îndeplinirea scopurilor menționate mai sus. Cavitatea interioară a unui asemenea concentrator se calculează pe baza formulelor și construcțiilor grafice expuse mai sus.

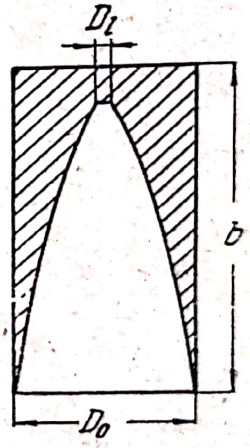


Fig. 3.35. Transformator acustic realizat sub forma unei bare cilindrice cu cavitate interioară exponențială.

Dacă pentru calcule trebuie să se folosească valorile diametrelor D_0 și D_l și nu cele ale secțiunilor S_0 și S_l ale concentratorului (așa cum a fost cazul mai sus), formulele de calcul vor avea următoarea formă

$$k = \sqrt{\frac{D_0^2}{D_0^2 - D_l^2}}; \qquad l = \frac{nC}{2f}\sqrt{1+\left(\frac{\ln k}{\pi n}\right)^2};$$

$$\alpha = \frac{2\ln k}{l}; \qquad D_x = D_0\sqrt{1-e^{-\alpha x}}.$$

Formulele indicate pot fi folosite și pentru calculul concentratoarelor exponențiale prezentate mai sus.

Concentratoarele pot fi și de tip complex, adică alcătuite din celule separate. Aceste celule pot fi confecționate din materiale diferite, cu condiția ca rezistența lor acustică să nu difere, de la o celulă la alta, cu mai mult decît

20—25%. Calculul celulelor unui concentrator complex se face pentru fiecare celulă în parte în concordanţă cu forma ei. Întrucît pe întreaga lungime a unui concentrator complex trebuie să încapă un număr întreg de alternanţe, pentru fiecare celulă se alege numărul propriu n care arată ce parte din lungimea totală a concentratorului complex revine fiecărei celule.

Un exemplu de asemenea concentrator complex, compus dintr-o parte exponenţială rotundă şi o parte cilindrică cu cavitate interioară exponenţială, este arătat în fig. 3.36.

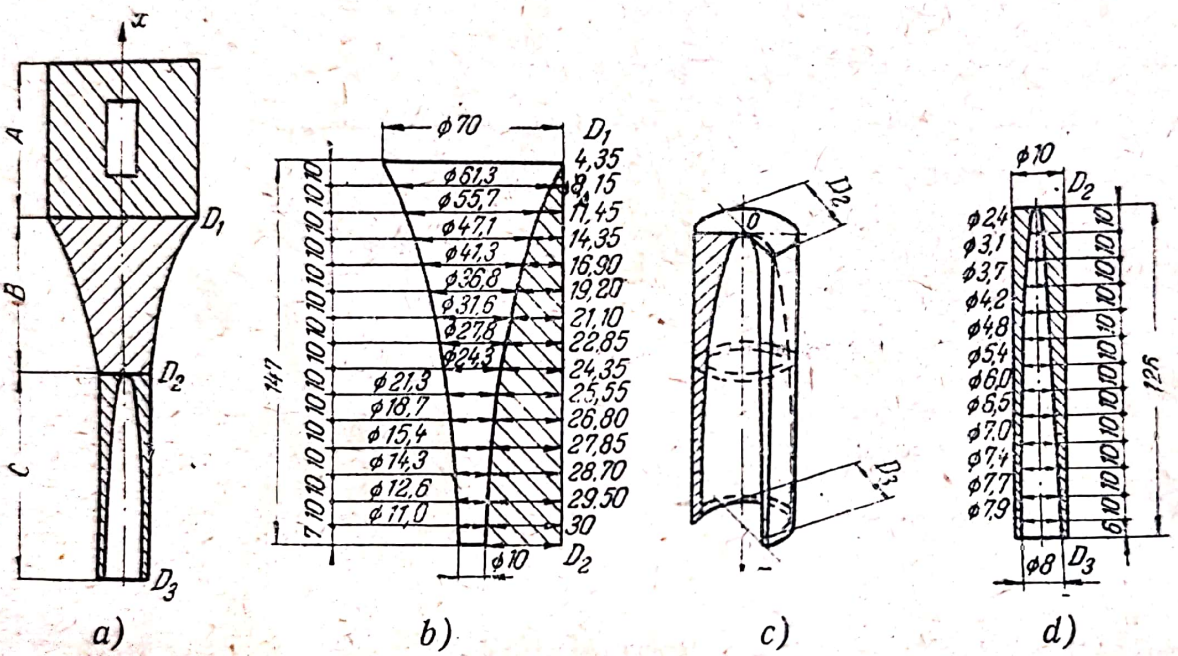


Fig. 3.36. Transformator acustic alcătuit dintr-o parte exponenţială rotundă şi o parte cilindrică cu cavitate interioară exponenţială:

a — aspectul general; *b* — diagrama de construire a părţii exponenţiale; *c* — partea cilindrică cu cavitate interioară exponenţială; *d* — diagrama de construire a părţii cilindrice cu cavitate interioară.

În industrie se folosesc de asemenea concentratoare cilindrice în trepte. De obicei, acestea reprezintă combinaţia a doi cilindri cu trecere în trepte. Aceste concentratoare fac posibilă mărirea considerabilă a amplitudinii vibraţiilor. Coeficientul de mărire a amplitudinii este egal în acest caz cu raportul dintre ariile bazei şi extremităţii concentratorului. Viteza de propagare a sunetelor printr-un concentrator alcătuit din 2 cilindri de lungime identică este egală cu viteza dintr-o bară rotundă cu secţiune constantă. De aceea, calculul lungimii unui asemenea concentrator în $\lambda/2$ nu prezintă dificultăţi. Concentratoarele de acest fel sînt simple în ce priveşte confecţionarea. Trebuie să se menţioneze că la aceste concentratoare planul nodal coincide cu planul eforturilor mecanice maxime şi se găseşte la mijloc.

Transformatoare acustice în formă de pîlnie. În unele cazuri, pentru transmiterea energiei ultrasonore pe o arie mare se folosesc transformatoarele acustice în formă de pîlnii. Forma unor asemenea transformatoare este de secţiune circulară sau dreptunghiulară cu variaţia exponenţială a secţiunii.

În fig. 3.37 sînt arătate două transformatoare în formă de pîlnie.

Calculul transformatoarelor acustice în formă de pîlnie se face la fel cu calculul concentratoarelor exponenţiale de secţiune circulară sau dreptunghiulară. Diametrul mare D_2 sau aria mare S_2 a secţiunii transformatoarelor se alege, pentru calcul, din considerente constructive.

Dispozitive de adaptare de forma unor plăci şi transformatoare acustice cu suprafaţa extinsă. Pentru adaptarea acustică a vibratorului şi transformatorului acustic cu lichidul în ultimul timp s-au aplicat dispozitive de adaptare,

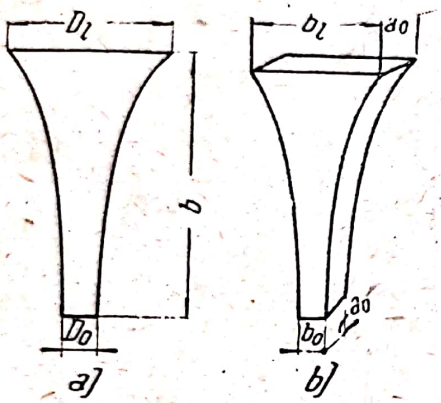


Fig. 3.37. Transformatoare acustice în formă de pîlnie:

a — pîlnie exponenţială cu secţiune circulară; *b* — pîlnie exponenţială de secţiune dreptunghiulară.

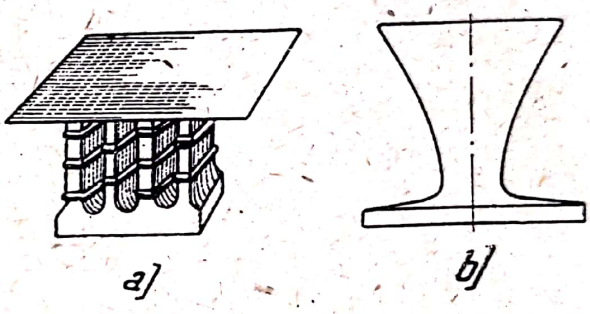


Fig. 3.38. Transformatoare acustice cu suprafaţă extinsă:

a — cu placă de adaptare, lipită direct pe vibratorul magnetostrictiv; *b* — cu placă de adaptare care constituie partea terminală a concentratorului acustic

avînd forma unor plăci şi transformatoare acustice cu suprafaţă extinsă la capăt. Se disting două tipuri de asemenea sisteme: plăcuţa de adaptare se lipeşte (sau se sudează) direct la vibratorul magnetostrictiv (fig. 3.38, *a*) şi plăcuţa de adaptare constituie partea terminală a transformatorului acustic (fig. 3.38, *b*).

În prezent încă nu există o teorie suficient de completă şi metode de calcul tehnic al plăcilor de adaptare; de aceea, parametrii constructivi optimi (forma, dimensiunile, grosimea plăcii în centru şi la periferie) se aleg adesea pe cale experimentală. Astfel în practică şi-au găsit aplicaţie plăcile arătate în fig. 3.39, *a* (pentru lipirea directă pe vibratorul magnetostrictiv) şi în fig. 3.39, *b* (pentru lipirea de capătul transformatorului acustic).

Pentru evaluarea aproximativă a parametrilor dispozitivelor de adaptare menţionate mai sus (cu unele ipoteze simplificatoare) se poate folosi calculul următor.

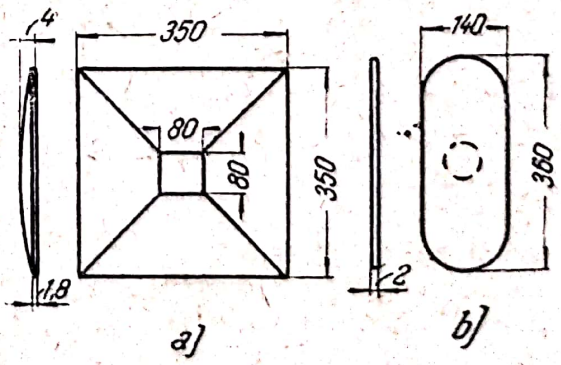


Fig. 3.39. Plăci de adaptare folosite cu vibratoarele magnetostrictive de tip НЭЛ-4:

a — în cazul lipirii directe pe vibratorul magnetostrictiv; *b* — în cazul lipirii pe concentratorul acustic.

În primă aproximaţie, o placă de adaptare poate fi considerată că funcţionează ca un piston, cu alte cuvinte că radiază vibraţii longitudinale. În acest caz, dacă placa este lipită direct de vibratorul magnetostrictiv (cînd placa lucrează pe o singură parte) ea trebuie să aibă aria data de relaţia:

$$S_{pl} = S_{vm} \frac{\rho_1 \cdot C_1}{\rho_0 \cdot C_0},$$

unde: S_{pl} este aria plăcii, cm^2;
S_{vm} — aria vibratorului magnetostrictiv, cm^2;
$\rho_1 \cdot C_1$ — rezistenţa acustică a vibratorului magnetostrictiv;
$\rho_0 \cdot C_0$ — rezistenţa acustică a lichidului.

La calculul dimensiunilor principale ale plăcii trebuie să se aibă în vedere că dimensiunea maximă a acesteia (diametrul sau diagonala dreptunghiului) trebuie să fie mai mică sau egală cu jumătate din lungimea de undă a ultrasunetelor (determinată pentru frecvenţa respectivă a vibraţiilor în materialul din care este confecţionată placa). Dacă nu se respectă această condiţie, funcţionarea sistemului de adaptare (din cauza apariţiei unor vibraţii complexe) este neeficace. Prin urmare, metoda adaptării cu ajutorul unor plăci subţiri limitează dimensiunile suprafeţei radiante a vibratorului magnetostrictiv. Condiţiile cele mai avantajoase se obţin în cazul utilizării unor plăci de formă rotundă. În acest caz aria maximă de radiaţie a plăcii de adaptare va avea valoarea

$$S_{pl} = \frac{\pi C^2}{16 f^2},$$

unde: C este viteza sunetului în materialul plăcii;
f — frecvenţa pe care funcţionează vibratorul magnetostrictiv.

Deoarece aria vibratorului magnetostrictiv este legată de aria plăcii prin relaţia de mai jos:

$$S_{vm} = S_{pl} \frac{\rho_0 C_0}{\rho_1 C_1},$$

dimensiunile cele mai favorabile ale vibratorului magnetostrictiv vor fi şi ele limitate în acest caz, şi anume:

$$S_{vm} = S_{pl} \frac{\rho_0 C_0}{\rho_1 C_1} = \frac{\pi C^2 \rho_0 C_0}{16 f^2 \rho_1 C_1}.$$

Pentru a se evita aceste limitări se foloseşte un alt tip de dispozitiv de adaptare, compus dintr-un concentrator acustic cu placă de adaptare la capătul lui. În funcţie de caracterul influenţei pe care o are placa asupra regimului vibratoriu de funcţionare a concentratorului, aceste dispozitive de adaptare pot fi împărţite în două grupe: cu plăci „neconjugate" şi cu plăci „conjugate". Dacă se folosesc concentratoare acustice cu plăci „neconjugate", dimensiunea minimă a plăcilor nu trebuie să depăşească o valoare egală cu

λ/l, iar aria lor minimă poate fi calculată cu formula dată mai sus. Aria capătului concentratorului legat cu placa se obţine cu formula

$$S_c = \frac{S_{pl}\,\rho_0\,C_0}{S_{vm}\,\rho_{vm}\,C_{vm}} \cdot S_{pl},$$

în care: S_{pl} este aria plăcii, în cazul cînd ea funcţionează pe o singură parte, cm^2;

ρ_0 — densitatea lichidului, g/cm^3;

C_0 — viteza sunetului în lichid, cm/s;

S_{vm} — aria vibratorului magnetostrictiv, cm^2;

C_{vm} — viteza sunetului în materialul vibratorului magnetostrictiv, cm/s;

S_c — aria capătului concentratorului, cm^2;

ρ_{vm} — densitatea materialului vibratorului magnetostrictiv, g/cm^3.

Dacă placa lucrează pe ambele părţi, aria capătului concentratorului se calculează cu formula

$$S_c = \frac{\pi C^2}{8 f^2} \cdot \frac{\rho_0 C_0 S_1}{\rho_{vm} C_{vm} S_{vm} + \rho_0 C_0 S_1}.$$

De cele mai multe ori se folosesc concentratoare exponenţiale. Exponentul curbei generatoare a acestor concentratoare se găseşte cu formulele date mai înainte.

Dacă se utilizează concentratoare acustice cu plăci „conjugate" este necesar să se efectueze un calcul separat (pentru frecvenţa vibraţiilor generate de vibratorul magnetostrictiv) atît al concentratorului însuşi, cît şi al plăcilor.

Calculul plăcilor se face în modul următor. Se alege la început raportul dintre diametrul d al plăcii şi grosimea ei h. În mod obişnuit se ia un raport $d/h = 30 \ldots 100$. După aceea se determină diametrul plăcii cu formula

$$d = \frac{0{,}9\,\alpha\,b}{d/h\,f_0} \sqrt{\frac{E}{\gamma(1-\sigma^2)}},$$

în care b este un coeficient care depinde de numărul de cercuri nodale. El se alege pe baza următoarelor date:

Numărul de cercuri nodale	1,	2,	3,	4,	5,	6,	7,	8,	9,	10
Coeficientul b	1	6	15	28	45	66	91	120	153	190

Celelalte elemente ale formulei de mai sus sînt:

f_0 este frecvenţa vibratorului magnetostrictiv;

E — modulul de elasticitate;

σ — coeficientul lui Poisson;

γ — densitatea materialului plăcii;

α — coeficient care depinde de proprietăţile mediului; el se determină cu formula

$$\alpha = \frac{1}{\sqrt{1 + 0{,}34\,\gamma_0\,d/\gamma\,h}},$$

în care: d este diametrul plăcii, cm;
h — grosimea plăcii, cm;
γ_0 — densitatea mediului.

În funcţie de diametrul găsit se calculează aria plăcii

$$S = \frac{\pi d^2}{4}.$$

Diametrul capătului transformatorului acustic va avea valoarea

$$D_c = D_1 \sqrt{\frac{S\rho_0 C_0}{S_1 \rho_{vm} C_{vm}}}.$$

Coeficientul de transformare se determină cu formula

$$k = \frac{D_1}{D_c}$$

Calculul concentratorului propriu-zis se face pe baza formulelor date mai sus.

În practică, placa de adaptare este cufundată complet în lichid şi de aceea, suprafaţa radiantă este formată atît din partea superioară, cît şi din cea inferioară ale plăcii. În acest caz, aria capătului transformatorului acustic se calculează cu formula

$$S_c = \frac{2S\rho_0 C_0 S_1}{S_{vm}\rho_{vm} C_{vm} + \rho_0 C_0 S_1}$$

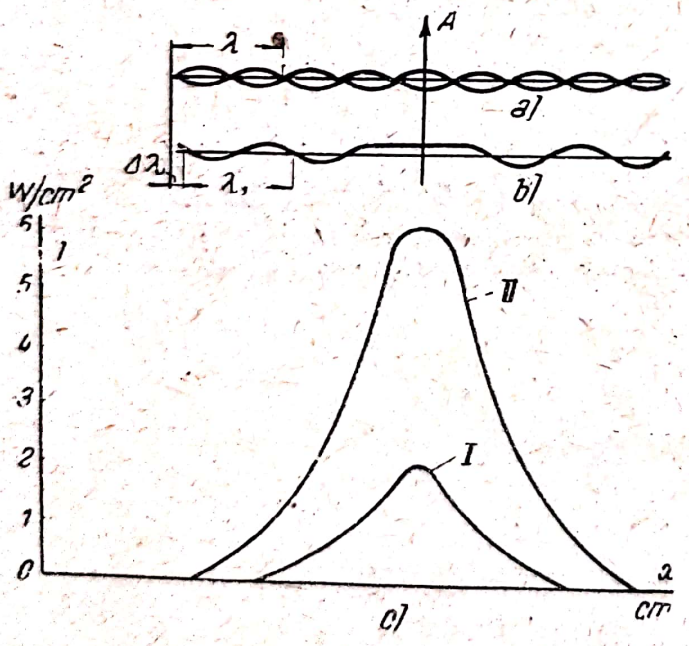


Fig. 3.40. Intensitatea vibraţiilor emise în apă de un vibrator НЭЛ-4:

a — caracterul distribuţiei vibraţiilor plăcii în cazul adaptării dimensiunilor; *b* — caracterul distribuţiei vibraţiilor plăci în caz de neadaptare; *c* — graficele de variaţie a intensităţii,

I — intensitatea variaţiilor emise de un vibrator magnetostrictiv fără placă; *II* — intensitatea vibraţiilor emise de un vibrator magnetostrictiv cu transformator acustic şi placă.

După calculul plăcii şi al capătului concentratorului se efectuează corectarea practică a dimensiunilor obţinute.

În fig. 3.40, *c* sînt reprezentate grafice construite pe baza rezultatelor măsurării intensităţii de radiaţie în apă a unui vibrator magnetostrictiv de tip НЭЛ-IV cu dispozitiv de adaptare conjugat şi fără un asemenea dispozitiv.

În afară de tipurile de vibratoare magnetostrictive cu transformatoare acustice şi cu dispozitive de adaptare descrise mai sus, există încă o serie întreagă de construcţii care posedă concentratoare de formă catenoidală (secţiu-

nea variază conform legii: $S_2 = S_1$ ch x), parabolice, sferice etc. Aceste dispozitive nu şi-au găsit însă aplicaţii industriale pe scară largă în prezent; de aceea, nici nu se vor da metodele lor de calcul. În plus, trebuie să se menţioneze că în toate cazurile cînd este necesar ca un transformator acustic cu secţiunea circulară să fie îmbinat cu un vibrator magnetostrictiv pătrat sau dreptunghiular, pentru utilizarea completă a suprafeţei radiante, diametrul iniţial al concentratorului se alege egal cu diagonala suprafeţei radiante a vibratorului magnetostrictiv. După asamblarea şi lipirea pachetului de tole cu transformatorul acustic, părţile din transformator, care ies în afara marginilor pachetului de tole, pot fi pilite.

Mai jos se dau exemple de calcul pentru cîteva tipuri de transformatoare acustice.

d) Exemple de calcul al transformatoarelor acustice

Calculul unui transformator acustic confecţionat sub forma unei bare rotunde de secţiune constantă. Pentru calculul unor asemenea transformatoare se foloseşte formula

$$l = \frac{nC}{2f}.$$

Alegem parametrii fundamentali: $n=1$; materialul pentru transformator — Ct—3 (în acest caz viteza sunetului este $C=5\cdot10^5$ cm/s); $f=20$ kHz. Atunci

$$l = \frac{1}{2}\cdot\frac{5\cdot10^5}{20\cdot10^3} = 12{,}5 \text{ cm}.$$

Diametrul barei este determinat de valoarea diagonalei planului radiant al vibratorului magnetostrictiv. De exemplu, pentru НЗЛ-IV el este egal cu 120 mm. Poziţia nodului de viteză a vibraţiilor elastice, determinat cu formula $x_0 = l/2n$, este de 6,25 cm.

Calculul unui transformator acustic confecţionat sub forma unei bare rotunde cu variaţia exponenţială a secţiunii. Pentru calculul unor transformatoare de acest fel se foloseşte formula

$$l = \frac{nC}{2f}\sqrt{1+\left(\frac{\ln k}{\pi n}\right)^2}.$$

Alegem parametrii fundamentali ai concentratorului ($n=1$):

$$D_0 = 5 \text{ cm}; \quad f = 20 \text{ kHz}; \quad D_l = 0{,}4 \text{ cm}.$$

Materialul din care se confecţionează concentratorul este St-3 (viteza sunetului va fi $C=5\cdot10^5$ cm/s). După aceea, determinăm coeficientul de transformare k:

$$k = \frac{D_0}{D_l} = \frac{50 \text{ mm}}{4 \text{ mm}} = 12{,}5;$$

$$\ln k = 2{,}5249.$$

Înlocuind toate valorile numerice în formula de mai sus, determinăm lungimea concentratorului: $l = 16{,}75$ cm.

Exponentul α al generatoarei îl găsim cu formula

$$\alpha = \frac{2\ln k}{l} = 0{,}3 \text{ cm}^{-1}.$$

Variația generatoarei concentratorului o găsim cu expresia

$$D_x = D_1 e^{-\frac{\alpha x}{2}}; \quad D_x = 5e^{-0,15x}.$$

După aceea găsim valorile lui D_x pentru $x=1, 2, 3, 4 \ldots 16,75$ cm, $D_1=5e^{-0,15 \cdot 1}=$ $=43,2$ mm; $D_2=5e^{-0,15 \cdot 2}=37,2$ mm etc., și vom obține

$D_3=31,92$ mm; $D_4=27,47$ mm; $D_5=23,66$ mm;
$D_6=20,37$ mm; $D_7=17,54$ mm; $D_8=15,1$ mm;
$D_9=13$ mm; $D_{10}=11,2$ mm; $D_{11}=9,62$ mm;
$D_{12}=8,28$ mm; $D_{13}=7,13$ mm; $D_{14}=6,135$ mm;
$D_{15}=5,285$ mm; $D_{16}=4,55$ mm.

Notînd valorile obținute pentru D_x pe axa x din desen, construim conturul concentratorului exponențial (fig. 3.33).

Pentru confecționarea concentratorului se poate utiliza un șablon. Locul nodului de viteză a vibrațiilor, calculat cu formula

$$x_0 = \frac{l}{\pi} \operatorname{arc\ tg} \left(\frac{1}{\pi} \ln k\right),$$

$$x_0 = \frac{16,75}{3,14} \operatorname{arc\ tg} \left(\frac{1}{3,14} \ln 12,5\right) = 4,7 \text{ cm}.$$

Calculul unui transformator acustic confecționat sub forma unei bare dreptunghiulare cu variație exponențială a secțiunii (de tip „cuțit"). Pentru calculul unor asemenea transformatoare se folosește formula

$$l = \frac{nC}{2f} \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{\ln k}{\pi n}\right)^2}.$$

Alegem parametrii fundamentali ai concentratorului:

$$n=1; \quad a_0=b_0=a_l=50 \text{ mm}; \quad b_l=4 \text{ mm}; \quad f=20 \text{ kHz}.$$

Materialul din care se face concentratorul este St-3 (viteza sunetului în acest material este $C=5 \cdot 10^5$ cm/s). După aceea determinăm: $k=\sqrt{\frac{b_0}{b_l}}=\sqrt{50/4}=3,53$; $\ln k=$ $=1,2424$. Înlocuind toate valorile în formulă, găsim că lungimea concentratorului are valoarea

$$l = 13,5 \text{ cm} = 135 \text{ mm}.$$

Exponentul α al generatoarei îl găsim cu formula

$$\alpha = \frac{2 \ln k}{l} = 0,18 \text{ cm}^{-1}.$$

Variația generatoarei concentratorului o găsim cu formula

$$b_x = b_0 e^{-\alpha x} = 5 e^{-0,18x}$$

După aceea determinăm valorile lui b_x pentru $x=1, 2, 3 \ldots 19,5$ cm.

$B_1=5e^{-0,18 \cdot 1}=41,8$ mm; $B_2=5e^{-0,36}=34$ mm;

$B_3=5e^{-0,54}=29,17$ mm ș.a.m.d.

Obținem atunci:

$B_4=24,38$ mm; $B_5=20,37$ mm; $B_6=17$ mm;
$B_7=14,22$ mm; $B_8=11,9$ mm; $B_9=9,91$ mm;
$B_{10}=8,28$ mm; $B_{11}=6,92$ mm; $B_{12}=5,78$ mm;
$B_{13}=4,83$ mm; $B_l=3,85$ mm.

Scanned with OKEN Scanner

Notînd valorile obținute pentru b pe axa x din desen, construim conturul concentratorului exponențial tip „cuțit" (fig .3.34).

Pentru confecționarea concentratorului se poate folosi un șablon.

Calculul unui transformator acustic complex, compus dintr-un transformator acustic cu profil exponențial și o bară rotundă, de secțiune constantă, cu cavitate interioară exponențială. Calculul unui asemenea concentrator se împarte în două etape: calculul porțiunii B și calculul porțiunii C (fig. 3.36).

Alegem parametrii principali ai concentratorului: $D_2=10$ mm, $f=20$ kHz; suprafața de radiație 50×50 mm.

Concentratorul este confecționat din Ct-3 (viteza sunetului $C=5\cdot10^5$ cm/s).

Porțiunea B reprezintă un concentrator exponențial rotund, cu lungimea egală cu $\lambda/2$ ($n=1$). Pentru utilizarea completă a suprafeței vibratorului diametrul concentratorului se ia egal cu diagonalele suprafeței radiante a vibratorului magnetostrictiv:

$$D_1=50\sqrt{2}=70 \text{ mm}.$$

Determinăm coeficientul de amplificare $k=\frac{D_1}{D_2}=\frac{70}{10}=7$; ln $k=1{,}9459$.

Lungimea concentratorului se determină cu formula

$$l=\frac{C}{2f}\sqrt{1+\left(\frac{\ln k}{\pi}\right)^2}=14{,}7 \text{ cm}.$$

Exponentul α al generatoarei îl găsim cu formula

$$\alpha=\frac{2\ln k}{l}=0{,}264 \text{ cm}^{-1},$$

iar variația generatoarei concentratorului — cu formula

$$D_x=D_1e^{-\frac{\alpha x}{2}}=7e^{-0{,}132x}$$

După aceea găsim valoarea lui D_x pentru $x=1, 2, 3\ldots14{,}7$ cm:

$$D_1=70e^{-0{,}132\cdot1}=61{,}3 \text{ mm}; \quad D_2=70e^{-0{,}132\cdot2}=53{,}7 \text{ mm};$$

$$D_3=70e^{-0{,}132\cdot3}=47{,}1 \text{ mm ș.a.m.d.}$$

Vom obține apoi:

$D_4=41{,}3$ mm; $D_5=36{,}2$ mm; $D_6=31{,}6$ mm;
$D_7=27{,}8$ mm; $D_8=24{,}3$ mm; $D_9=21{,}3$ mm;
$D_{10}=18{,}7$ mm; $D_{11}=16{,}4$ mm; $D_{12}=14{,}3$ mm;
$D_{13}=12{,}6$ mm; $D_{14}=11$ mm; $D_2=10$ mm.

Calculul porțiunii C se face în modul următor. Este necesar să se aleagă o asemenea variație a diametrului interior D_x al cavității exponențiale, încît aceasta să satisfacă ecuația

$$S_x=S_2e^{-\alpha x}.$$

Aria secțiunii transversale va avea atunci valoarea

$$S_x=\frac{\pi D_2^2}{4}-\frac{\pi D_x^2}{4}=\frac{\pi}{4}(D_2^2-D_x^2);$$

$$S_2=\frac{\pi D_2^2}{4};$$

$$S_3=\frac{\pi D_2^2}{4}=\frac{\pi D_3^2}{4}=\frac{\pi}{4}(D_2^2-D_3^2).$$

Scanned with OKEN Scanner

Coeficientul de amplificare este

$$k = \sqrt{\frac{S_2}{S_3}} = \sqrt{\frac{D_2^2}{D_2^2 - D_3^2}}.$$

Determinăm apoi variația generatoarei concentratorului; în acest scop, introducem valorile lui S_2 și S_x în ecuația exponențială $S_x = S_2 e^{-\alpha}$

$$\frac{\pi}{4}(D_2^2 - D_x^2) = \frac{\pi}{4} D_2^2 e^{-\alpha x}.$$

După unele transformări vom obține:

$$D_x = D_2 \sqrt{1 - e^{-\alpha x}}$$

Alegem parametrii principali ai concentratorului:

$$D_2 = 10 \text{ mm}; \quad D_3 = 8 \text{ mm}; \quad f = 20 \text{ kHz}; \quad n = 1.$$

Coeficientul de amplificare este

$$k = \sqrt{\frac{D_2^2}{D_2^2 - D_3^2}} = \sqrt{\frac{100}{100 - 64}} \approx 1{,}67; \quad \ln k = 0{,}513.$$

Lungimea concentratorului este

$$l = \frac{C}{2f} \sqrt{1 + \left(\frac{\ln k}{\pi}\right)^2} = 12{,}6 \text{ cm}.$$

Exponentul generatoarei are expresia

$$\alpha = \frac{2 \ln k}{l} = 0{,}081 \text{ cm}^{-1},$$

iar variația generatoarei concentratorului este

$$D_x = 10 \sqrt{1 - e^{-0{,}081\, x}}.$$

După aceea găsim valoarea lui D_x pentru $x = 1, 2, 3 \ldots 12{,}6$ cm:

$$D_1 = 10 \sqrt{1 - e^{-0{,}081 \cdot 1}} = 2{,}4 \text{ mm};$$

$$D_2 = 10 \sqrt{1 - e^{-0{,}081 \cdot 2}} = 3{,}1 \text{ mm};$$

$$D_3 = 10 \sqrt{1 - e^{-0{,}081 \cdot 3}} = 3{,}7 \text{ mm} \quad \text{ș.a.m.d.}$$

În acest caz vom obține:

$$D_4 = 4{,}2 \text{ mm}; \quad D_5 = 4{,}8 \text{ mm}; \quad D_6 = 5{,}6 \text{ mm}; \quad D_7 = 6 \text{ mm};$$

$$D_8 = 6{,}5 \text{ mm}; \quad D_9 = 7 \text{ mm}; \quad D_{10} = 7{,}4 \text{ mm}; \quad D_{11} = 7{,}7 \text{ mm}; \quad D_{12} = 7{,}9 \text{ mm}; \quad D = 8{,}0 \text{ mm}.$$

Notînd toate valorile obținute pe axa x a figurii, construim conturul concentratorului, iar pentru confecționarea lui se poate folosi un șablon.

Calculul unui dispozitiv de adaptare avînd forma unui concentrator cu suprafață extinsă conjugată. Pentru calculul plăcii de oțel (frecvența $f = 21{,}3$ kHz) alegem raportul $d/h = 35$.

Coeficientul α se va determina cu expresia

$$\alpha = \frac{1}{\sqrt{1 + 0{,}34 \frac{\gamma_0 d}{\gamma_h}}} = 0{,}629$$

Diametrul plăcii este

$$d = \frac{0{,}9\,\alpha\, b}{d/h \cdot f} \sqrt{\frac{E}{\gamma(1-\sigma^2)}}.$$

Admitem că numărul de cercuri nodale este egal cu 5. În tabela găsim că în acest caz coeficientul b are valoarea 45; atunci d=17,55 cm=175,5 mm, iar grosimea plăcii este

$$h \approx 5{,}02 \approx 5 \text{ mm}.$$

Efectuăm construcţia grafică. Dacă se aplică o forţă în punctul A, placa va vibra aşa cum se arată în fig. 3.40, *a*.

Calculăm diametrul capătului transformatorului acustic. În acest scop calculăm în prealabil aria plăcii:

$$S = \frac{\pi d^2}{4} = 242 \text{ cm}^2.$$

Aria porţiunii de început a concentratorului este

$$S_1 = 62 \text{ cm}^2.$$

Pentru apă, mărirea $\rho_0 C_0$ are valoarea $0{,}15 \cdot 10^6$. Pentru nichel (considerăm că vibratorul este din nichel), mărimea $\rho_{vm} C_{vm}$ are valoarea $4{,}95 \cdot 10^6$. Calculăm apoi diametrul extremităţii concentratorului:

$$D_c = D_1 \sqrt{\frac{S \rho_0 C_0}{S_1 \rho_{vm} C_{vm}}} = 31 \text{ mm}.$$

Dacă construim acum grafic placa vibratoare, ţinînd seama de influenţa extremităţii concentratorului, vom obţine imaginea din fig. 3.40, *b*. Pentru ca la capetele plăcii să se obţină un nod al vibraţiilor (locul unde vibraţiile sînt nule), este necesar ca diametrul plăcii să fie micşorat cu 8 mm. Deoarece în acest caz se obţine un diametru al plăcii egal cu 167,5 mm, pentru ca să nu varieze frecvenţa proprie de vibraţie a plăcii, grosimea ei trebuie să fie:

$$h = \frac{167{,}5}{35} = 4{,}78 \text{ mm}.$$

În cazurile cînd soluţia constructivă necesită o placă de dimensiuni mai mici, la calcule se ia un coeficient mai mic sau se micşorează placa şi se face reglarea pe cale experimentală.

e) Fixarea vibratoarelor

Sînt răspîndite două moduri de fixare a transformatorului acustic la pachetul de tole.

În primul caz, transformatorul acustic se lipeşte de pachetul de tole cu cositor, alamă sau aliaj de argint.

În cazul al doilea, pachetul de tole este prevăzut cu o piesă intermediară cu filet, care constituie partea în $\lambda/4$ a transformatorului acustic, şi care

servește la fixarea celei de-a doua părți a transformatorului acustic. Piesa intermediară se lipește de pachetul de tole. Acest mod de fixare este cel mai indicat pentru îmbinarea nedemontabilă a concentratoarelor exponențiale cu sarcina.

Un factor foarte important, care determină în mare măsură capacitatea de funcționare a vibratorului, este calitatea lipirii concentratorului sau a piesei de trecere de pachetul de tole, precum și a lipirii sculei de concentrator. Aliajul de lipit trebuie să fie așezat uniform pe întreaga suprafață de contact. Nu sînt admisibile nici măcar goluri mici sau locuri nelipite.

Dacă se folosește aliaj ПСР45, dă rezultate satisfăcătoare următoarea tehnologie de lipire: cositorirea ambelor suprafețe care vin în contact și apoi lipirea cu curenți de înaltă frecvență (folosind în mod obligatoriu un flux). Încălzirea trebuie făcută dinspre partea în care se găsește piesa intermediară sau concentratorul. Pentru a se evita îndoirea părții lipite, este indicat ca lipirea să fie efectuată într-un dispozitiv special.

Adeseori este necesar să se țină seama de modul în care masa sarcinii influențează funcționarea vibratorului magnetostrictiv. Dacă de vibrator se fixează o sarcină avînd masa m_1 (determinată prin cîntărire) și se măsoară dezacordul relativ ν_1 al frecvenței de rezonanță a sistemului vibratoriu în ansamblul lui, dezacordul de frecvență relativ ν, introdus de o sarcină cu masa m, poate fi determinat în mod aproximativ cu formula

$$\nu = \frac{\Delta f}{f_0} = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{m}{m_1}\left[1 - \frac{1}{(1+\nu_1)^2}\right]}},$$

în care: f_0 este frecvența de rezonanță a sistemului fără sculă;

Δf — abaterea frecvenței de rezonanță, provocată de influența sculei.

În mod obișnuit este dată banda de frecvențe în care generatorul electric debitează o putere suficientă, adică se prescrie dezacordul relativ admisibil ν_{adm}: trebuie să se determine însă valoarea maximă admisibilă m_{adm} a masei sarcinii. Dacă s-a determinat dezacordul ν_1 provocat de acțiunea unei sarcini avînd masa m_1, pentru găsirea masei admisibile a sarcinii se poate folosi formula:

$$m_{adm} = m_1 \frac{1 - \frac{1}{(1+\nu_{adm})^2}}{1 - \frac{1}{(1+\nu_1)^2}}.$$

Utilizînd formulele indicate mai sus, trebuie să se aibă în vedere următoarele: aceste formule au fost deduse numai pentru cazul cînd dimensiunile sarcinii sînt mult mai mici decît lungimea de undă (de exemplu de 20—30 ori mai mici). Mărimile ν_1; ν_{adm} sînt întotdeauna negative, deoarece sub acțiunea unei mase concentrate, frecvența de rezonanță a sistemului vibratoriu se micșorează.

În cele ce urmează se vor analiza cîteva dintre cele mai caracteristice metode de fixare a vibratoarelor magnetostrictive (fig. 3.41).

Fixarea în nodul de vibraţie al unui vibrator magnetostrictiv în $\lambda/2$ *(fig. 3.41,a).* La mijlocul pachetului de tole se montează două cleme (două prisme) care strîng pachetul prin intermediul unor garnituri subţiri de cauciuc. Prismele de strîngere se fixează rigid de corpul vibratorului. Avantajul unui asemenea mod de fixare constă în poziţia stabilă a nodului deplasărilor, în cazul variaţiei sarcinii vibratorului. Un dezavantaj al acestui mod de fixare este rigiditatea scăzută a sistemului.

Fixarea pe un suport în $\lambda/4$ (fig. 3.41, *b)* care la partea lui superioară este cuplat cu transformatorul acustic, în locul de îmbinare a acestuia cu pachetul de tole, iar la partea inferioară este fixat rigid de carcasă. Avantajul acestui procedeu constă într-o fixare foarte rigidă a sistemului pachet de tole-concentrator-sarcină. Acest mod de fixare a vibratorului nu poate fi însă universal; el funcţionează bine într-o porţiune îngustă a gamei de frecvenţe şi în cazul unei variaţii neînsemnate a sarcinii vibratorului. În caz contrar, pot avea loc pierderi de energie, în special prin transmiterea vibraţiilor spre carcasă.

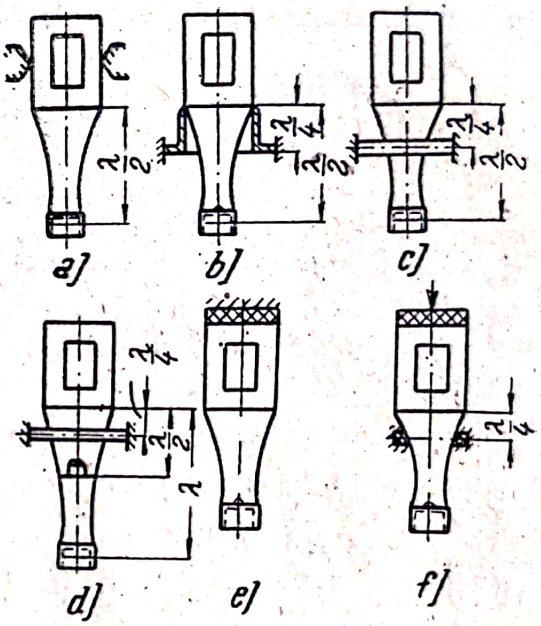


Fig. 3.41. Modurile de fixare a vibratoarelor magnetostrictive:
a — fixarea în nodul de vibraţie al pachetului de tole; *b* — fixarea pe un suport în $\lambda/4$; *c, d* — fixarea în nodul de vibraţie al concentratorului de viteză; *e* — fixarea liberă pe un suport de cauciuc; *f* — fixarea cu piesă de sprijin din cauciuc în nodul deplasărilor cu apăsarea de sus a pachetului de tole.

Calculul suportului în $\lambda/4$ se face cu formulele

$$l_1 = \frac{V}{\omega}\pi\ (0{,}447 \ldots 0{,}436);$$

$$l_2 = \sqrt{\frac{3 \cdot EI}{(4{,}06 \ldots\ 9{,}78)\ \omega P}},$$

în care: V este viteza sunetului în materialul folosit pentru fixare, cm/s;
ω — pulsaţia;
E — modulul de elasticitate al materialului folosit pentru fixare, dine/cm^2;
$P = \rho VS$;
ρ — densitatea materialului, g/cm^3;
S — aria secţiunii peretelui de sprijin, cm^2;
I — momentul de inerţie al secţiunii transversale al reazemului orizontal;
l_1 — înălţimea paharului, cm;
l_2 — lăţimea flanşei pînă în punctul de fixare, cm, în raport cu axa neutră.

Fixarea în nodul de vibrație al unui concentrator acustic (fig. 3.41, *c*, *d*). Transformatoarele acustice în $\lambda/2$ și în λ, împreună cu pachetul de tole și sarcina, se fixează de carcasa blocului acustic cu ajutorul unui inel subțire (o membrană cu grosimea de 1,5—3 mm), așezat în nodul deplasărilor (la o distanță egală cu $\lambda/4$ de partea frontală a pachetului de tole). Acest inel-membrană se confecționează în așa fel, încît să constituie un întreg cu transformatorul acustic, sau se sudează de acesta. Acest mod de fixare este ceva mai defectuos decît fixarea pe un suport $\lambda/4$, dar se poate realiza mai simplu. În esență, dezavantajele sînt identice cu acelea din cazul fixării pe un suport în $\lambda/4$.

Fixarea liberă a pachetului de tole, prin intermediul unei suspensii de cauciuc (fig. 3.41, *e*). Această prindere prezintă dezavantajul unei rigidități reduse.

Fixarea cu reazem de cauciuc în nodul de deplasare și cu apăsare a pachetului de tole de sus în jos este ilustrată în fig. 3.41, *f*. La partea de jos, la distanța $\lambda/4$ de capătul vibratorului, sistemul pachet-concentrator-sarcină se sprijină pe o garnitură de cauciuc amplasată în nodul deplasărilor concentratorului, la partea lui superioară, pachetul de tole este apăsat — prin intermediul unei perne groase de cauciuc — pe garnitura de cauciuc. Acest mod de fixare asigură o bună transmitere a energiei.

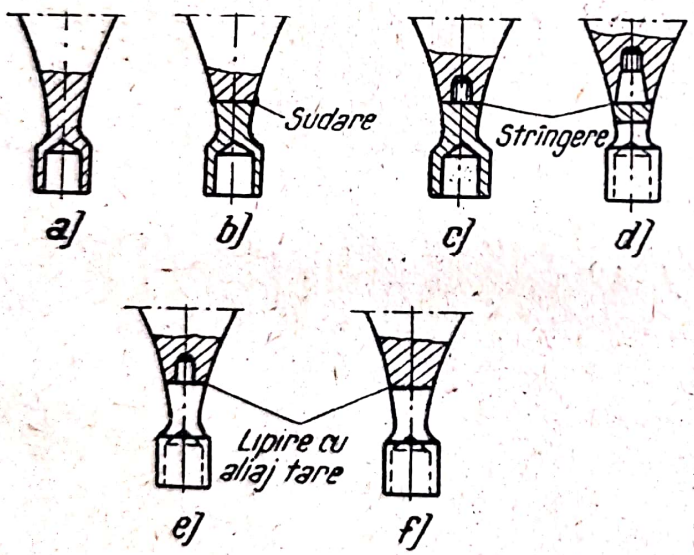


Fig. 3.42. Modurile de fixare a sarcinii (sculei).

La mașinile pentru prelucrarea mecanică a materialelor, fixarea sculei de transformatorul acustic se realizează de obicei în două moduri: în primul caz, concentratorul și sarcina se confecționează dintr-o singură bară de metal (fig. 3.42, *a*), iar în al doilea caz scula se sudează direct pe concentrator (fig. 3.42, *b*). De asemenea, se mai folosește îmbinarea cu filet (fig. 3.42, *c*, *d*) sau cu filet și lipire (fig. 3.42, *e*), sau îmbinarea prin presare și lipire cu aliaj dur (fig. 3.42, *f*).

La îmbinările demontabile, în cazul unui contact prost între piesele îmbinate, are loc o pierdere de energie, și în plus, dacă funcționarea se face cu amplitudini mari, este posibilă distrugerea îmbinării.

3.4. Vibratoare din ferite

Prin proprietățile lor și prin metoda de fabricare, feritele — aceste noi materiale magnetostrictive care își găsesc un larg cîmp de aplicații în ultimul timp — sînt asemănătoare cu ceramicele. Proprietățile lor, comparativ cu ale diferitelor materiale magnetostrictive, sînt date în tabela 3.3.

TABELA 3.3

Materialul magnetostrictiv	Densitatea g/cm³	Viteza sunetului, m/s	Lungirea relativă la saturație	Coeficient de cuplaj magnetomecanic		Constanta de magnetostricțiune, dine/cm². Gs		Constanta efectului magnetostrictiv invers λ, în cazul magnetizării remanente, Gs/dine, cm²
				În cazul magnetizării remanente	În cazul valorii optime a cîmpului magnetic continuu	În cazul magnetizării remanente	În cazul valorii optime a cîmpului magnetic continuu	
Ferită Ф-21	5,20	5 790	$-26 \cdot 10^{-6}$	0,15	0,21	$0,91 \cdot 10^4$	$2,1 \cdot 10^4$	$2,2 \cdot 10^{-6}$
Ferită Ф-38	5,27	5 940	$-9 \cdot 10^{-6}$	0,10	0,14	$0,23 \cdot 10$	$0,55 \cdot 10^4$	$3,9 \cdot 10^{-6}$
Ferită Ф-42	5,20	5 540	$-26 \cdot 10^{-6}$	0,23	0,33	$1,0 \cdot 10^4$	$2,2 \cdot 10^4$	$4,2 \cdot 10^{-6}$
Nichel	8,85	4 680	$-(30-40) \times 10^{-6}$	0,14—0,2	0,30—0,31	$(0,5-0,8) \cdot 10^4$	$(1,7-2,0) \cdot 10^4$	$(1,5 \cdot 7,2) \cdot 10^{-6}$
Permendur	8,2	5 180	$+70 \cdot 10^{-6}$	0,2—0,25		$1,1 \cdot 10^4$	—	$(3,7 \cdot 8,3) \cdot 10^{-6}$
Alfer	6,7	4 780	$+40 \cdot 10^{-6}$	0,2—0,25		—	$0,7 \cdot 10^4$	$(9-12) \cdot 10^{-6}$

Coeficientul de cuplaj magnetomecanic este raportul dintre energia mecanică și energia magnetică, în cazul cînd vibratorul funcționează pe o frecvență mai mică decît cea de rezonanță (în absența pierderilor).

Constanta de magnetostricțiune este raportul dintre valoarea tensiunii mecanice care apare sub acțiunea inducției magnetice și valoarea acestei inducții (cu condiția să nu existe deformații). Această constantă are o importanță hotărîtoare pentru funcționarea traductoarelor emițătoare. Constanța efectului magnetostrictiv invers, λ este raportul dintre inducția magnetică și tensiunea mecanică aplicată. Valoarea ei este esențială în cazul utilizării traductorului în regim de recepție.

Scanned with OKEN Scanner

În tehnica ultrasunetelor îşi găsesc aplicaţie feritele preparate din oxizi de fier, zinc şi protoxid de nichel, măcinate pînă ajung în stare de pulbere. Din această pulbere se presează (la o presiune de 3 500—4 000 kg/cm²) produse de formă şi dimensiuni prescrise (bare sau pachete) care apoi sînt supuse unui tratament termic (la temperatura de 1 400°C, cu menţinere suplimentară la temperatura de 1 050°C). În fig. 3.43 este arătat aspectul general al unui vibrator din ferită în formă de pachet, iar variaţia lungirii relative în funcţie

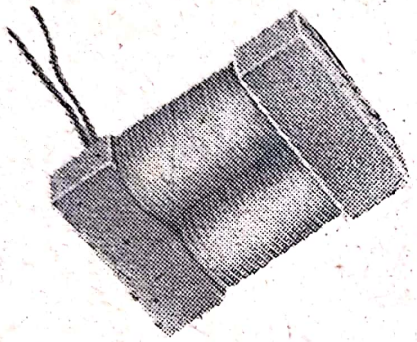


Fig. 3.43. Vibrator de ferită.

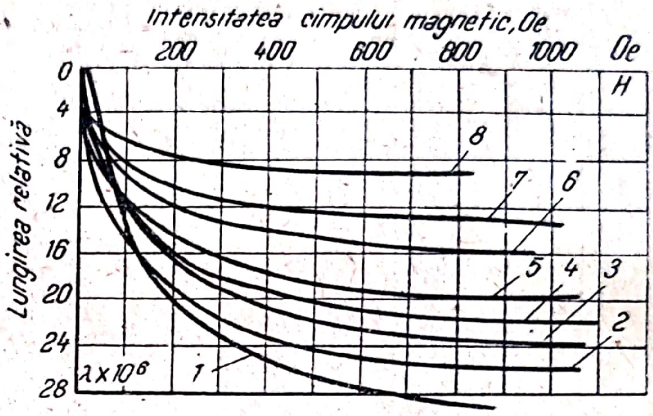


Fig. 3.44. Variaţia lungirii relative λ în funcţie de intensitatea H a cîmpului magnetic, pentru ferite şi nichel:

1 — nichel; *2* — ferită de nichel; *3* — ferită de nichel-zinc cu conţinutul de ferită de zinc egal cu 10%; *4* — 15% ferită de zinc; *5* — 20% ferită de zinc; *6* — 30% ferită de zinc; *7* — 40% ferită de zinc; *8* — 50% ferită de zinc.

de intensitatea cîmpului magnetic, pentru bare din ferite de nichel-zinc şi din nichel, este reprezentată în fig. 3.44 (conform datelor obţinute de N. P. Goleamina).

Variaţia pantei curbei care reprezintă inducţia are loc de regulă pentru valori ale intensităţii cîmpului egale cu cel mult 10—15 Oe (fig. 3.45). Acest caracter al variaţiei duce la faptul că în timpul funcţionării vibratoarelor la puteri mari, cînd amplitudinea cîmpului magnetic de excitaţie depăşeşte 10 Oe, permeabilitatea magnetică îşi variază sensibil valoarea în decursul unei perioade; acest lucru este valabil şi pentru valoarea constantei $d\lambda/dH$, din cauza neliniarităţii curbelor de magnetostricţiune.

În fig. 3.46 sînt reprezentate curbele de rezonanţă ale unui vibrator din ferită de nichel, în apă şi în aer, în cazul premagnetizării optime. În mod obişnuit, valoarea cîmpului optim, pentru care randamentul este maxim, corespunde porţiunii cu variaţie bruscă a pantei curbei de magnetizare. Astfel, pentru ferita de nichel, cîmpul continuu optim este în mod obişnuit egal cu 14 Oe.

Randamentul electroacustic al vibratoarelor de tip pachet, confecţionate din ferite de nichel-zinc, are o valoare cuprinsă între 60 şi 70%. După cum s-a arătat mai sus, la frecvenţele apropiate de 30 kHz, pentru vibratoarele magnetostrictive obişnuite, realizate sub forma unui pachet din tole de metal, se consideră normal un randament de 40—50%.

Principalele tipuri de pierderi care apar atunci cînd vibratoarele confecţionate din ferită funcţionează la puteri mici sînt pierderile prin histerezis

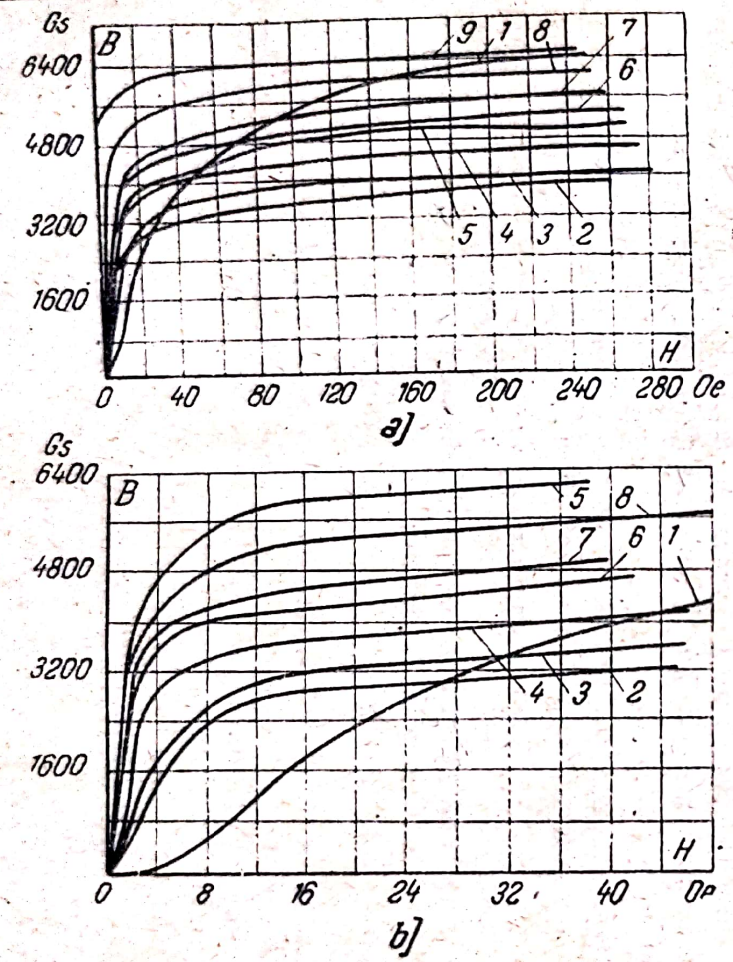


Fig. 3.45. Variația inducției B în funcție de intensitatea H a cîmpului magnetic:

1 — nichel; *2* — ferită de nichel; *3* — ferită de nichel-zinc cu conținutul de ferită de zinc de 10%; *4* — 15% ferită de zinc; *5* — 20% ferită de zinc; *6* — 25% ferită de zinc; *7* — 30% ferită de zinc; *8* — 40% ferită de zinc; *9* — 50% ferită de zinc.

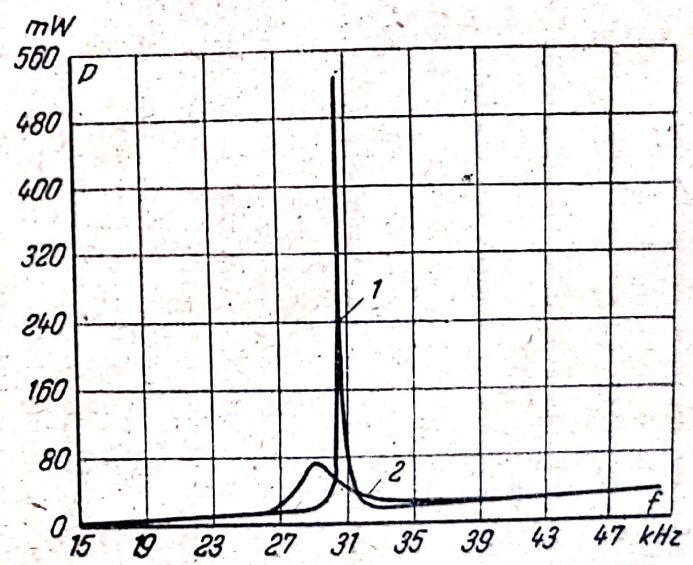


Fig. 3.46. Variația în funcție de frecvență a puterii electrice absorbite de un vibrator din ferită de nichel, în apă și în aer.

(magnetic şi magnetoelastic) şi pierderile pur mecanice. Vibratoarele din ferită sînt ieftine, relativ simple în ce priveşte confecţionarea şi li se poate da orice formă. Totodată ele posedă un randament şi o robusteţe mecanică satisfăcătoare. Utilizarea feritelor poate extinde apreciabil, înspre frecvenţele înalte, frecvenţa limită de funcţionare a vibratoarelor magnetostrictive. Pentru vibratoarele din nichel, randamentul scade mult o dată cu creşterea frecvenţei, din cauza curenţilor turbionari; pentru frecvenţele de circa 100 kHz şi mai înalte, pierderile prin curenţi turbionari ocupă locul principal în rîndul pierderilor din materialul magnetostrictiv. Pentru ferite, care au o conductibilitate extrem de mică, randamentul este însă mare la frecvenţele înalte, în comparaţie cu materialele metalice.

Feritele sînt rezistente la coroziune şi prezintă o variaţie a frecvenţei în funcţie de temperatură mult mai mică decît în cazul metalelor. Astfel, pentru unele compoziţii de ferite, punctul Curie se găseşte la peste 500°C, fapt care oferă posibilitatea folosirii vibratoarelor de ferită la temperaturi înalte. Conform datelor obţinute de N. P. Goleamina, vibratoarele din ferită posedă o permeabilitate magnetică suficient de mare (de ordinul 2 000—3 000), o lungire relativă pronunţată, apropiată ca valoare de aceea a nichelului (de ordinul $30 \cdot 10^{-6}$), o rezistivitate mare (de ordinul 10^2—$10^6\ \Omega \cdot$ cm) şi o mare rezistenţă la comprimare (pînă la 15 000 kg/cm^2). Conductibilitatea mică a feritelor exclude practic pierderile prin curenţi turbionari în pachetele monolite. Unele modele de vibratoare de ferită, în cazul funcţionării în apă cu amplitudinea de 10^{-4} cm şi pe frecvenţa de 30 kHz, asigură obţinerea unei intensităţi ultrasonore pînă la 5,5 W/cm^2, satisfăcătoare pentru multe procese tehnologice industriale.

Calculul vibratoarelor din ferită se efectuează pornind de la următoarea relaţie care leagă principalii parametrii ai vibratorului:

$$S_1 \cdot \operatorname{ctg}\ kl_1 = S_2 \cdot \operatorname{tg}\ kl_2,$$

unde l_1 şi S_1 sînt jumătate din lungimea şi aria secţiunii transversale a părţii în formă de bară, cm;

l_2 şi S_2 — lungimea şi aria jugului, cm;

$$k = \frac{\omega}{C},$$

unde C este viteza sunetului, cm/s;

$$\omega = 2\pi f.$$

Rezolvarea ecuaţiei date mai sus, în raport cu l, poate fi efectuată pe cale grafică (fig. 3.47). Cu formula amintită se găsesc valorile mărimilor şi se construiesc graficele $\frac{R_1}{S_2} \cdot \operatorname{ctg}\ kl_1$ şi $\operatorname{tg}\ kl_2$. Pe axa ordonatelor se notează valorile funcţiilor, iar pe axa absciselor — frecvenţa în kHz.

Scanned with OKEN Scanner

Coborînd o perpendiculară din punctul de intersecţie a curbelor pînă la axa absciselor, se obţine valoarea frecvenţei vibratorului în kHz. Trebuie să se menţioneze că frecvenţa reală a vibratoarelor este cu 1,5—2 kHz mai mică decît cea obţinută prin calculul descris mai sus.

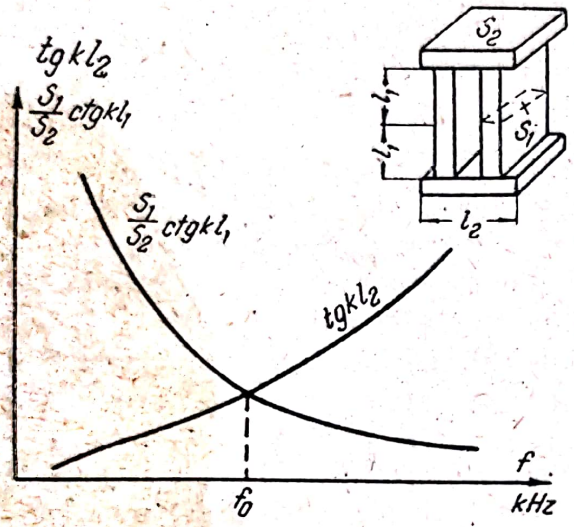


Fig. 3.47. Metodă grafică de calcul al frecvenţei unui vibrator de ferită, în funcţie de dimensiunile date l şi S.

3.5. Vibratoare piezoelectrice

a) Generalităţi

Vibratorul piezoelectric (fig. 3.48) se compune din elementul *1*, care posedă proprietăţi piezoelectrice, electrozii *2* şi monturile *3*. Aceste vibratoare se folosesc în mod obişnuit în gama frecvenţelor ultrasonore cuprinse între

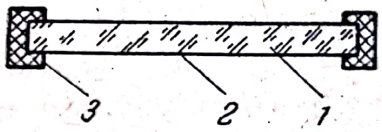


Fig. 3.48. Vibrator piezoelectric.

100 kHz şi 36 MHz. Dintre diversele materiale piezoelectrice, în industrie se utilizează îndeosebi materialele naturale, cuarţul şi sarea Seignette (aceasta din urmă este utilizată mai ales în tehnica măsurărilor acustice), precum şi materiale artificiale: titanatul de bariu şi titanatul de calciu.

Cele mai vaste perspective de utilizare industrială le are ceramica piezoelectrică din titanat de bariu (sau de calciu), datorită costului ei relativ scăzut, posibilităţii de confecţionare uşoară a unor vibratoare de orice formă, creării unor vibratoare ultrasonore cu fascicul focalizat etc. În prezent, se fabrică vibratoare piezoelectrice de forme, dimensiuni şi tipuri diferite.

Principiul de funcţionare al vibratoarelor piezoelectrice rezidă în utilizarea efectului piezoelectric al unor materiale. Se distinge un efect piezoelectric direct şi unul invers. Efectul direct este definit ca polarizarea electrică (apariţia unei sarcini electrice) produsă de o tensiune mecanică, efect ce se constată la unele categorii de cristale (tensiunea electrică de polarizare este proporţională cu tensiunea mecanică şi îşi inversează semnul o dată cu aceasta din urmă). De acest fenomen este strîns legat efectul piezoelectric invers, adică apariţia unei tensiuni mecanice într-un cristal piezoelectric, atunci cînd acesta este polarizat electric. Valoarea tensiunii mecanice este proporţională cu intensitatea cîmpului polarizant.

Dacă, de pildă, pe marginile unei plăci piezoelectrice se aplică o tensiune alternativă de înaltă frecvenţă, placa vibrează în ritmul de variaţie a cîmpului electric aplicat. Feţele plăcii se vor deplasa una în raport cu alta şi în cazul atingerii cu un mediu oarecare, în care se pot propaga unde ultrasonore, placa va radia ultrasunete în acest mediu.

Scanned with OKEN Scanner

Efectul cel mai intens se observă atunci cînd frecvenţa de variaţie a cîmpului electric coincide cu frecvenţa proprie de vibraţie elastică a elementului piezoelectric, adică la rezonanţă.

Variaţia dimensiunilor elementului piezoelectric este proporţională cu tensiunea aplicată E şi cu constanta d a cristalului respectiv, denumită modul piezoelectric; această variaţie este

$$\triangle x = dE.$$

Pentru o placă de cuarţ de tăietură x (vezi mai jos) modulul piezoelectric este $d = 6{,}4 \cdot 10^{-8}$ $cm^{1/2} \cdot g^{-1/2} \cdot s$. Un calcul simplu arată că o tensiune de 1 000 V aplicată electrozilor unei plăci de cuarţ provoacă variaţia dimensiunilor acesteia cu milionimi de milimetru ($2 \cdot 10^{-6}$ mm); deci, amplitudinea vibraţiilor plăcii va fi extrem de mică.

Efectul piezoelectric este practic lipsit de inerţie. Datorită acestui fapt, cu cristalele piezoelectrice se pot obţine frecvenţe de vibraţie extrem de înalte, pînă la 10^8—10^9 Hz.

Mai jos se analizează pe scurt principalele elemente ale vibratoarelor piezoelectrice: elementele piezoelectrice, armăturile-electrozi, construcţia montărilor cristalelor. Pentru o exploatare corectă a vibratoarelor piezoelectrice este necesar să se ţină seama de caracteristicile tehnice date mai jos, de metodele principale de calcul şi de particularităţile fabricării vibratoarelor piezoelectrice.

b) Materialele piezoelectrice şi particularităţile fabricării vibratoarelor piezoelectrice

Cristalele piezoelectrice de cuarţ. Datorită durităţii lui, precum şi stabilităţii faţă de temperatură, cuarţul are aplicaţii practice în tehnica de laborator, iar uneori şi în industrie. El este foarte dur, nu se dizolvă în apă sau în acizi, se topeşte greu (se topeşte numai la o temperatură de 1 470°C) şi îşi pierde proprietăţile piezoelectrice la o temperatură de 570°C. Pînă la această temperatură efectul piezoelectric al cuarţului este foarte stabil. Cristalul de cuarţ are forma unei prisme hexagonale. Dacă se trasează o linie paralelă cu feţele prismei (fig. 3.49), ea determină axa optică Z a cristalului. Linia care uneşte unghiurile opuse ale prismei hexagonale determină axa electrică x; de aceea, în fiecare cristal natural există trei axe x. Axa y este dirijată perpendicular pe fiecare suprafaţă laterală a prismei; şi aceste axe există tot în număr de trei într-un cristal. Axele x şi y sînt perpendiculare pe axa optică. Plăcuţele din cristal sînt tăiate de obicei perpendicular pe una dintre cele trei axe.

Pentru obţinerea unor vibraţii ultrasonore, de obicei se utilizează aşanumita tăietură x, fiindcă plăcile de această tăietură radiază — atunci cînd vibrează — unde longitudinale care se propagă bine în gaze, lichide şi corpuri solide. Plăcile tăiate dintr-un cristal de cuarţ trebuie să aibă suprafeţe şlefuite cu grijă şi riguros paralele, fără fisuri şi zgîrieturi. Părţile din cristal care conţin chiar defecte mici, nu sînt utilizabile, deoarece existenţa acestor defecte face ca placa să fie mai fragilă.

Scanned with OKEN Scanner

Atunci cînd din cristale de cuarţ se confecţionează plăcuţe, are o mare importanţă operaţia de tăiere a cuarţului. Tăierea se face cu ferăstraie circulare speciale. Tehnica modernă a tăierii cristalelor de cuarţ permite tăierea unor plăcuţe cu grosimea de cîteva sutimi de milimetru. Rezistenţa unor asemenea plăcuţe este însă foarte mică (ele se sparg uşor) şi în practică nu sînt folosite pentru obţinerea ultrasunetelor.

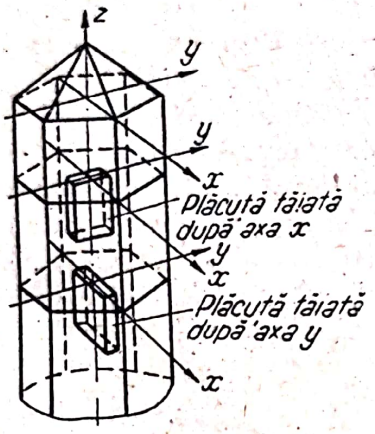


Fig. 3.49. Principalele moduri de tăiere ale unui cristal de cuarţ:
a — plăcuţă tăiată după axa *x*; *b* — plăcuţa tăiată după axa *y*.

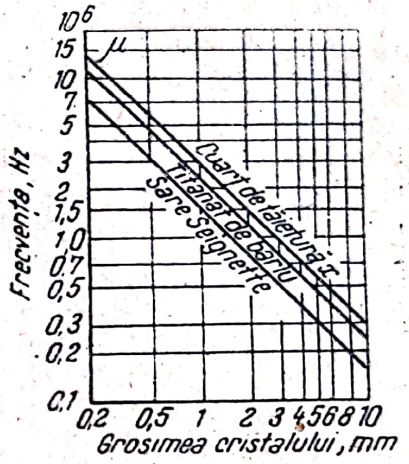


Fig. 3.50. Variaţia frecvenţei de rezonanţă în funcţie de grosimea plăcilor piezoelectrice.

O plăcuţă tăiată din cuarţ trebuie să aibă pe toate părţile o lungime şi o grosime identică, deoarece funcţionarea ei este influenţată chiar de variaţii neînsemnate ale dimensiunilor. În modul cel mai îngrijit trebuie şlefuite cele patru faţete periferice înguste. Grosimea plăcuţei se alege în funcţie de frecvenţa necesară a vibraţiilor elastice (fig. 3.50).

În practică se confecţionează numai plăcuţe de cuarţ de dimensiuni mici: cu diametrul de 45, 60 şi 90 mm.

Cristale piezoelectrice din sare Seignette. Plăcuţele tăiate din cristale de sare Seignette (sare dublă de potasiu şi sodiu a acidului tartric dextrogir) posedă un efect piezoelectric mai pronunţat decît cele de cuarţ. Astfel, de pildă, pentru aceeaşi tensiune electrică, o plăcuţă din sare Seignette îşi variază dimensiunile geometrice aproximativ de o sută de ori mai mult decît o plăcuţă analogă confecţionată din cuarţ. Cristalele din sare Seignette pot fi crescute artificial şi pot atinge o greutate de cîteva kilograme. Creşterea se realizează într-o soluţie saturată în apă, a cărei temperatură şi concentraţie este variată în mod corespunzător în timpul procesului de creştere a cristalelor. Sarea Seignette este uşor solubilă în apă, se topeşte la temperatura de 58°C şi îşi pierde proprietăţile piezoelectrice la 54°C. Cristalele de sare Seignette sînt utilizate mai ales în aparatajul de măsurare. În particular, în defectoscopia cu ultrasunete, ele sînt folosite ca receptoare. Graficul care exprimă variaţia frecvenţei vibratorului din sare Seignette, în funcţie de grosimea lui, este arătat în fig. 3.50.

Cristale piezoelectrice din titanat de bariu. Deşi plăcuţele de titanat de bariu ($BaTiO_3$) sînt folosite de curînd în vibratoarele de mare putere, totuşi, pentru prelucrarea unor lichide, la temperaturi pînă la 80—100°C şi la frecvenţe de peste 100 kHz, aceste vibratoare se bucură de cea mai largă răspîndire. Titanatul de bariu prezintă un efect piezoelectric mai puţin pronunţat decît al cristalelor de sare Seignette, dar care depăşeşte efectul piezoelectric al cuarţului. Titanatul de bariu nu este solubil în apă. El este fabricat pe cale sintetică din hidroxid de bariu şi săruri ale acidului titanic; o masă formată din cristale de dimensiuni mici este presată în forme speciale şi arsă, adăugîndu-se o cantitate neînsemnată de substanţe de cimentare. Plăcuţele de titanat de bariu semicristalin obţinut în felul acesta nu posedă proprietăţi piezoelectrice; de aceea, ele sînt supuse acţiunii unui cîmp electric continuu, adică sînt în prealabil polarizate. Polarizarea se realizează în modul următor. Se amplasează vibratorul în ulei şi se încălzeşte uleiul pînă la o temperatură mai înaltă decît punctul Curie. După aceea se aplică vibratorului o tensiune înaltă (cam 1—2 kV/1 mm de grosime). Vibratorul este ţinut sub această tensiune

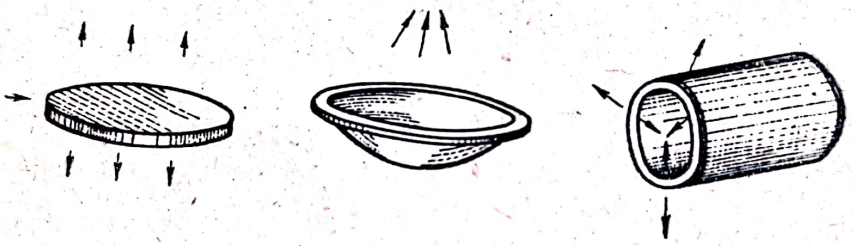


Fig. 3.51. Vibratoare de titanat de bariu, de diferite forme.

timp de cîteva ore, iar după aceea este răcit lent şi se întrerupe tensiunea înaltă. Ca urmare, plăcuţa de titanat de bariu capătă proprietăţi piezoelectrice suficient de pronunţate. Dacă se aplică apoi plăcuţei un cîmp electric variabil pe direcţia de polarizare preliminară, în mediul care vine în atingere cu plăcuţa vor apărea vibraţii longitudinale atît pe direcţia de polarizare, cît şi pe o direcţie perpendiculară pe aceasta.

Dat fiind că la vibratorul din titanat de bariu, în cazul unei funcţionări îndelungate, au loc diminuări permanente ale proprietăţilor piezoelectrice (depolarizare), condiţionate de reorientarea dipolilor în interiorul vibratorului, este necesar ca din timp în timp să se polarizeze din nou vibratorul.

Plăcuţele piezoelectrice obţinute din ceramică de titanat de bariu cu adaosuri de 4—8% titanat de plumb ($PbTiO_3$) pot fi folosite ca vibratoare de ultrasunete în gama de temperaturi pînă la +120°C, de la 10 pînă la 100°C proprietăţile piezoelectrice ale acestora rămînînd practic neschimbate. La temperaturi peste 120°C, proprietăţile piezoelectrice ale ceramicei de titanat de bariu dispar (această temperatură corespunde punctului Curie). În ultimul timp a început să se fabrice ceramică din titanat de calciu, care posedă o stabilitate mărită în raport cu temperatura.

Se cunosc titanaţi cu punctul Curie peste 250—300°C. Prin proprietăţile ei elastice, ceramica din titanat de bariu se aseamănă cel mai mult cu cuarţul. Variaţia frecvenţei fundamentale, în funcţie de grosimea vibratoarelor din titanat de bariu, este arătată în fig. 3.50.

Scanned with OKEN Scanner

În procesul de preparare a ceramicei din titanat de bariu, acesteia i se poate atribui practic orice formă (plăcuţă, tub, ceaşcă, fig. 3.51) şi poate fi făcută să radieze vibraţii elastice cu aceeaşi eficacitate pe orice direcţie. Vibratoarele din titanat de bariu permit prelucrarea mecanică (tăiere, şlefuire, polizare) pentru ca vibratorului să i se dea forma şi dimensiunile necesare. După o asemenea prelucrare mecanică se efectuează în mod obişnuit o polarizare preliminară.

Dintre avantajele plăcuţelor piezoelectrice din titanat de bariu trebuie menţionat procentajul mare de transformare a energiei electrice în vibraţii elastice mecanice, stabilitatea mare faţă de străpungerea electrică şi posibilitatea funcţionării în cazul unor tensiuni mici (40—100 V) aplicate suprafeţelor plăcuţelor.

Vibratoarele ultrasonore confecţionate din titanat de bariu piezoelectric pot funcţiona şi în regim de impulsuri. În acest caz se obţin intensităţi care depăşesc de cîteva ori pe cele normale.

TABELA 3.4

Materiale piezoelectrice	Modulul piezoelectric 10^9, $cm^{1/2} \cdot g^{-1/2} \cdot s$	Constanta dielectrică ε	Densitatea g/cm^3	Modulul lui Young, 10^{-10} $dine/cm^2$
Cuarţ	$d_{11} = 6{,}9$ $d_{14} = 20$	4,5	2,65	78,7
Sare Seignette (tăietură x la 45°)	$d_{14} = 7\,000$			
Titanat de bariu	$d_{25} = 169$ $d_{25} = 750$ $d_{33} = 570$	200 1 000 — 1 700	1,77 5,5 — 5,7	31,6 95—110

În tabela 3.4 sînt indicate proprietăţile piezoeletrice şi cele elastice ale materialelor piezoelectrice menţionate mai sus.

c) Armăturile-electrozi

Pentru ca pe feţele plăcuţei piezoelectrice să se aplice o tensiune alternativă de înaltă frecvenţă, plăcuţa este aşezată între două armături metalice, confecţionate de exemplu din foiţă de aluminiu, argint sau crom. Aceste armături protejează suprafaţa cristalului şi servesc drept electrozi. În afară de aceasta, datorită lor, sarcinile electrice se distribuie uniform pe întreaga suprafaţă a cristalului piezoelectric. Electrozii nu trebuie să ajungă foarte aproape de marginile plăcuţei cristaline, deoarece în acest caz nu este exclusă posibilitatea unei străpungeri electrice (conturnare pe suprafaţă) dacă tensiunea aplicată este suficient de mare. În cazul cînd se lucrează cu un vibrator de cuarţ, pe faţetele plăcuţei se aplică o tensiune electrică înaltă, care provoacă o descărcare electrică în formă de scînteie care „fuge" pe marginea plăcuţei. Pentru a se evita apariţia scînteilor, prin urmare şi a străpungerii, vibratoarele de cuarţ se amplasează într-un lichid care posedă proprietăţi izolante bune, de pildă ulei de transformator din care s-au eliminat cu grijă

resturile de apă. Principiul pe care se bazează montarea cristalelor piezoelectrice prevăzute cu armături-electrozi este identic pentru toate materialele piezoelectrice şi constă în utilizarea unor dispozitive de strîngere. La unul dintre acestea, suprafaţa interioară a electrodului care se sprijină pe cristal este făcută să fie uşor concavă. Cristalul este apăsat strîns la cele patru vîrfuri (sau pe circumferinţă, dacă plăcuţa este rotundă). În cazul unei grosimi suficiente a cristalului, aceasta se poate realiza cu ajutorul unor şuruburi care trec prin nişte găuri aflate la cele patru colţuri. Acest procedeu de fixare împiedică apariţia vibraţiilor de încovoiere.

Armături-electrozi, lipite pe cristalele piezoelectrice. În cazul acestui procedeu, cele două armături metalice confecţionate din foiţă şi cristalul aşezat între ele se lipesc bine împreună, formînd un singur sistem vibratoriu. Acesta funcţionează pe o frecvenţă ceva mai mică decît frecvenţa vibraţiilor proprii ale plăcuţei piezoelectrice. Totodată, puterea radiată se micşorează în mică măsură. Electrozii se lipesc pe cristal cu un clei special sau se cimentează printr-un mijloc oarecare. Între montură şi cristal este de dorit să existe un strat de substanţă de cimentare de grosime minimă. Se iau toate măsurile de precauţie pentru ca stratul de substanţă de cimentare să fie omogen şi pentru ca între foiţă şi cristal să nu existe bule de aer. Metoda descrisă este folosită de cele mai deseori pentru cristale din sare Seignette şi din cuarţ.

Armături-electrozi, obţinute prin metalizarea suprafeţei cristalului piezoelectric. Metalizarea suprafeţei cristalului piezoelectric se realizează prin trei metode: depunerea cu ajutorul unui reducător, pulverizarea catodică şi arderea. În cazul cînd electrozii sînt depuşi prin metoda precipitării argintului cu o substanţă reducătoare, elementul piezoelectric este curăţat şi degresat cu grijă, deoarece de această curăţare depinde soliditatea viitorului strat.

Electrozii pot fi obţinuţi şi prin pulverizarea catodică a metalelor. Acest procedeu este mai convenabil pentru depunerea straturilor din argint şi crom. Calitatea pulverizării depinde şi de natura gazului care constituie atmosfera în care se efectuează această operaţie.

În cazul ceramicii din titanat de bariu, depunerea electrozilor se face prin metoda arderii. În acest scop se pregăteşte în prealabil o pastă pentru argintare, în ordinea următoare. Dintr-o soluţie de azotat de argint se obţine argint coloidal. Fluxul pentru pastă se prepară din două părţi avînd următoarele compoziţii:

Compoziţia 1:	87% PbO	3,9% SiO_2	9,1% B_2O_3
Compoziţia 2:	73% PbO	6,6% SiO_2	20,4% B_2O_3

Pentru obţinerea fluxului, compoziţiile preparate sînt uscate în prealabil timp de 2—3 ore, la o temperatură de 100—120°C. După aceea se face amestecul (95% din prima compoziţie şi 5% din cea de a doua). Se macină cu grijă amestecul pînă la obţinerea unei pulberi omogene şi se supune topirii într-un cuptor cu muflă.[1]) Procesul de topire a fluxului durează 4 ore (ame-

[1]) Cuptor cu combustibil, echipat cu una sau mai multe cutii sau tuburi (mufle), construite din material refractar sau din fontă, şi închise etanş pentru a izola materialul de tratat de gazele de ardere (Nota red. Ed. Tehnice).

stecul este încălzit timp de 2 ore la 500°C, apoi se măreşte temperatura pînă la 800°C). Fluxul topit se toarnă în apă, în acest caz formîndu-se granule mici de culoare galbenă-verzuie. Se elimină apa şi se usucă fluxul într-un termostat. Fluxul uscat se macină pînă cînd devine o pulbere care trece prin sita cu 200 ochiuri pe ţol liniar.

Pasta pentru argintare se prepară conform următoarei reţete:

Substanţa	Nr. de părţi	Greutatea, g
Argint coloidal	10	18,8
Flux	1	1,88
Colofoniu	0,25	0,47
Terebentină	5	94 (10,4 cm^3, greutate specifică 0,9)
Borax	12	20

Amestecul obţinut este lăsat să se depună timp de 30—40 ore, apoi este trecut printr-o sită cu 200 ochiuri pe ţol liniar.

Pasta se depune pe suprafaţa vibratorului din titanat de bariu şi se usucă în aer. După aceea se introduce vibratorul într-un cuptor cu muflă şi în timp de 2,5—3 ore se ridică temperatura pînă la 250°C. Se ţine vibratorul la această temperatură timp de o jumătate de oră. Apoi, în decursul a 1,5 ore, se ridică temperatura pînă la 450°C şi se menţine timp de o oră, după care se deconectează cuptorul şi se lasă să se răcească împreună cu vibratorul. Se recomandă ca această operaţia de depunere a electrozilor să fie repetată de 2—3 ori.

d) Monturile pentru cristale

Monturile cristalelor au o mare influenţă asupra funcţionării vibratoarelor piezoelectrice. O montură corect construită măreşte eficacitatea şi siguranţa de funcţionare a vibratorului. Nu mai puţin important este şi modul de fixare a conductoarelor prin care circulă curentul la electrozii vibratorului. Conductoarele trebuie sau să fie apăsate pe electrozi cu ajutorul unui resort, sau trebuie lipite de aceştia. Este necesar ca conductoarele care fac legătura cu electrozii să nu împiedice vibraţiile plăcuţei.

Din marele număr de tipuri de monturi, cel mai mare interes pentru scopuri tehnologice îl prezintă monturile care asigură radierea ultrasunetelor într-un mediu lichid. În acest caz, o suprafaţă a cristalului piezoelectric trebuie să vină în contact cu mediul şi trebuie legată la pămînt. Vibratoarele din titanat de bariu, cufundate direct în soluţia care urmează a fi iradiată (de exemplu, un electrolit), trebuie acoperite cu o peliculă protectoare specială. S-a stabilit că majoritatea straturilor acoperitoare fie micşorează apreciabil puterea vibraţiilor, fie straturile însile se distrug după 1—2 ore de funcţionare a vibratorului. Rezultate pozitive au fost obţinute în cazul acoperirii unui vibrator din titanat de bariu, la început cu un strat de clei БФ-2, iar după aceea cu un strat de clei de policlorură de vinil. Se recomandă următoarea

Scanned with OKEN Scanner

metodă de acoperire: după curăţirea îngrijită cu alcool se acoperă suprafaţa vibratorului din titanat de bariu cu un strat subţire de clei БФ-2. Acest strat este lăsat apoi să se usuce timp de 24 ore, la o temperatură de 20°C. După aceea, suprafaţa uscată este clătită cu acetat de etil şi pe ea se depune un strat de clei de policlorură de vinil 10%. Stratul depus este lăsat să se usuce timp de 24 ore la temperatura de 20°C. Acest strat acoperitor nu este conducător de electricitate, nu se distruge în timpul funcţionării vibratorului şi protejează vreme îndelungată suprafaţa vibratorului împotriva acţiunii atît a mediilor acide, cît şi a celor alcaline.

Rezultate pozitive dă şi acoperirea vibratoarelor din titanat de bariu cu un strat obţinut prin metoda galvanizării.

După cum s-a arătat mai sus, în cazul funcţionării în lichide care posedă proprietăţi izolante reduse (de exemplu, diversele soluţii în apă), de cele mai multe ori — pentru a se evita străpungerea — vibratoarele din cuarţ nu pot fi cufundate direct în mediul reactiv. Dacă este necesar, se foloseşte o baie intermediară (ulei obişnuit de transformator, curăţat cu grijă de urmele de apă, sau un compus silico-organic, de pildă „kalorii-2"), în care se cufundă vibratorul, iar pe montura cristalului de cuarţ se lasă loc pentru aşezarea vasului de reacţie. În decursul funcţionării are loc întotdeauna o încălzire a uleiului de transformator — sau a compusului silico-organic); de aceea, pentru a menţine temperatura constantă, trebuie să se prevadă o răcire. Se recomandă ca uleiul de transformator să fie schimbat periodic şi curăţat de urmele de apă, folosind de pildă, cărbune activat sau încălzind uleiul pînă la o temperatură de 105—110°C.

e) Principalele metode de calcul al vibratoarelor piezoelectrice

Calculul vibratoarelor piezoelectrice implică determinarea următorilor parametri: frecvenţa proprie şi grosimea elementului piezoelectric: tensiunea necesară pentru excitarea în aşa fel a acestuia, încît să se obţină puterea maximă; determinarea puterii lui acustice etc. Calculul acestor parametri este necesar pentru alegerea corectă a tipului de vibrator, precum şi pentru determinarea mărimilor electrice necesare care asigură funţionarea vibratorului piezoelectric în regimul prescris.

Cele mai răspîndite sînt vibratoarele în $\lambda/2$. Aceste vibratoare sînt constituite dintr-o plăcuţă de titanat de bariu, a cărei grosimea l este egală cu jumătate din lungimea de undă λ. În acest caz, plăcuţa va vibra pe frecvenţa fundamentală.

Deoarece frecvenţa este determinată din formula $f=C/\lambda$ şi conform celor spuse mai sus, $\lambda=2l$, frecvenţa proprie f_0 a vibraţiilor plăcuţei se va determina cu formula $f_0=C/2l$, unde C este viteza undelor elastice în plăcuţă.

Pentru determinarea orientativă a frecvenţei vibraţiilor şi a grosimii vibratorului piezoelectric din cuarţ, sare Seignette sau titanat de bariu se poate folosi graficul reprezentat mai sus în fig. 3.50.

Scanned with OKEN Scanner

Pentru calculul mai exact al vibratoarelor în $\lambda/2$ se foloseşte următoarea formulă:

$$f = \frac{k}{d} \text{ [kHz]},$$

unde d este grosimea plăcuţei piezoelectrice, mm;

k — constanta vibratorului, kHz·mm (mărimea k are următoarele valori: pentru cuarţ 2 280, pentru sarea Seignette 1 540 şi pentru titanatul de bariu 2 200).

În afară de vibratoarele în $\lambda/2$, în practică îşi găsesc aplicaţie vibratoarele în $\lambda/4$ şi vibratoarele cu mai multe straturi.

Vibratoarele în $\lambda/4$ este un sistem compus din două plăcuţe legate rigid între ele (lipite cu clei sau lipite cu un aliaj), dintre care una este confecţionată din titanat de bariu şi are grosimea

$$l = \frac{\lambda}{4} = \frac{C}{4 f_0},$$

iar cealaltă este făcută dintr-un metal cu grosimea

$$l_1 = \frac{\lambda_1}{4} = \frac{C_1}{4 f_0},$$

unde λ_1 şi C_1 sînt lungimea de undă şi, respectiv, viteza de propagare a ultrasunetelor în metalul utilizat. Plăcuţa metalică se confecţionează în mod obişnuit din oţel sau aluminiu.

Vibratorul cu mai multe straturi este compus dintr-o plăcuţă subţire, confecţionată din ceramică de titanat de bariu, şi din două armături metalice identice. Frecvenţa proprie a vibraţiilor depinde de dimensiunile elementelor vibratorului şi poate fi determinată cu formula

$$\operatorname{ctg} \frac{2 n f_0}{C} \cdot \frac{l}{2} = \frac{\rho_1 C_1 S_2}{\rho C S} \cdot \operatorname{tg} \frac{2 n f_0 l_1}{C_1},$$

în care: ρ este densitatea materialului;

s — aria secţiunii transversale a plăcuţei pe o direcţie perpendiculară pe direcţia de radiaţie.

În această formulă toţi parametrii referitori la plăcuţa din ceramică de titanat de bariu sînt notaţi fără indice, iar parametrii armăturilor — cu indice.

Intensitatea vibraţiilor ultrasonore, în cazul radiaţiei printr-o singură faţetă (radiaţia unidirecţională) a vibratorului în $\lambda/2$ şi $\lambda/4$, poate fi determinată — în forma generală — din expresia

$$I = \frac{P_{ac}}{S} = \frac{1}{2} \xi^2 (\rho C)_{med} = \frac{k_i U_{ef}^2 d_{33}^2 \eta_{am}^2}{9 \cdot 10^{11} (\rho C)_{med} l^2},$$

în care: I este intensitatea vibraţiilor radiate, W/cm^2;

P_{ac} — puterea acustică totală a vibratorului, W;

S — aria de radiaţie, cm^2;

$(\rho C)_{med}$ — rezistența acustică a mediului iradiat cu ultrasunete, g/cm^2·s;
ξ — valoarea de vîrf a vitezei de vibrație a suprafeței vibratorului;
k_1 — un coeficient numeric egal cu 4 pentru vibratorul în $\lambda/2$ și cu 1 pentru vibratorul în $\lambda/4$;
U_{ef} — valoarea eficace a tensiunii de excitație, V;
d_{33} — modulul piezoelectric, cm$^{\frac{1}{2}}$·g$^{-\frac{1}{2}}$·s;
η_{am} — randamentul acustico-mecanic al vibratorului care pentru vibratoarele studiate are valoarea

$$\eta_{am} = 0{,}78 - 0{,}8.$$

Dacă se lucrează cu un vibrator cu mai multe straturi, în cazul unei radiații unidirecționale intensitatea se determină cu formula

$$I = \frac{2\pi^2 d_{33}^2 (\rho_1 C_1)^2}{(\rho C)_{med}} \cdot \frac{f_0^2 l^2 E_{ef} \eta_{am}^2 E^2}{1 + \left(\frac{\pi f_0 l \rho_1 C_1 S_1}{\rho C^2 S}\right)^2} \text{ [W/cm}^2\text{]},$$

în care: E_{ef} este valoarea eficace a intensității cîmpului electric de excitație, V/cm;
E — modulul lui Young, dine/cm^2.

Toate celelalte notații sînt identice cu cele de mai sus.

Dacă vibratorul funcționează în regim de radiație prin ambele fațete (radiație bidirecțională) intensitatea vibrațiilor poate fi determinată cu următoarele expresii:

$$I = 2 \frac{U_{ef}^2 d_{33}^2 \eta_{am}^2}{9 \cdot 10^{11} (\rho C)_{med} l^2} \text{ [W/cm}^2\text{]},$$

pentru vibratorul în $\lambda/2$

$$I = \frac{1}{2} \frac{U_{ef}^2 d_{33}^2 \eta_{am}^2}{9 \cdot 10^{11} (\rho C)_{med} l^2} \text{ [W/cm}^2\text{]},$$

pentru vibratorul în $\lambda/4$, și

$$I = \frac{\pi^2 d_{33}^2 (\rho_1 C_1)^2}{(\rho C)_{med}} \cdot \frac{f_0^2 l^2 E_{ef}^2 \eta_{am} E^2}{1 + \left(\frac{\pi f_0 l \rho_1 C_1 S_1}{\rho C^2 S}\right)^2} \text{ [W/cm}^2\text{]}$$

pentru vibratorul cu mai multe straturi.

Pentru determinarea valorii tensiunii necesare excitării vibratorului se poate folosi graficul reprezentat în fig. 3.52.

Graficul este alcătuit pentru cazul cel mai frecvent întîlnit cînd plăcuța de cuarț sau de titanat de bariu radiază ultrasunete în apă printr-o singură fațetă. Pentru cuarț, valorile sînt indicate cu linii continue, iar pentru titanatul

Scanned with OKEN Scanner

de bariu — cu linii întrerupte; în acest caz, ordonatele corespunzătoare titanatului de bariu trebuie micşorate de 1 000 ori.

Dacă radiaţia se face în două sensuri, valorile pentru tensiune şi frecvenţă trebuie să fie mărite pentru a obţine aceeaşi valoare a intensităţii ultrasunetelor. Cînd funcţionarea nu se face pe frecvenţa fundamentală ci pe una dintre cele n armonice, valorile obţinute din grafic trebuie mărite de n ori pentru obţinerea aceloraşi valori ale intensităţii ultrasunetelor.

Pentru un vibrator de cuarţ, în cazul radiaţiei unidirecţionale, intensitatea poate fi găsită cu expresia

$$I = \frac{3{,}6 \cdot 10^{-13} f^2 U_{ef}^2}{\rho C},$$

iar pentru radiaţia bidirecţională — cu expresia

$$I = \frac{1{,}44 \cdot 10^{-13} f^2 U_{ef}^2}{\rho C},$$

în care: f este frecvenţa, Hz;
U_{ef} — tensiunea de excitaţie, V;
ρC — rezistenţa acustică a lichidului, $g \cdot cm^{-2} \cdot s^{-1}$.

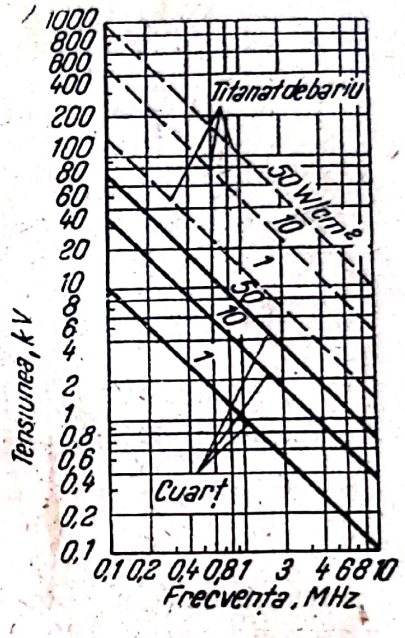


Fig 3.52. Variaţia tensiunii aplicate vibratorului piezoelectric în funcţie de frecvenţa proprie de rezonanţă pentru diferite intensităţi ale ultrasunetelor.

Pentru apă (cînd $\rho C = 1{,}45 \cdot 10^5$), această expresie va căpăta forma:

$$I = f^2 U_{ef}^2 \ [W/cm^2].$$

În acest caz f este dată în MHz, iar U — în kV.

La vibratorul din titanat de bariu, în cazul radiaţiei unidirecţionale, într-un lichid, intensitatea sunetelor poate fi calculată cu formula

$$I = \frac{(0{,}9 \ldots 14{,}4) \cdot 10^2 f^2 U_{ef}^2}{\rho C} \ [W/cm^2],$$

în care: f este frecvenţa, MHz;
U — tensiunea de excitaţie, V.

Formula simplificată, pentru apă, va căpăta forma:

$$I = (0{,}62 \ldots 10)\, 10^{-3} f^2 U_{ef}^2 \ [W/cm^2],$$

Pentru sarea Seignette, intensitatea sunetelor se va determina cu formula

$$I = \frac{5{,}4 \cdot 10^7 f^2 U_{ef}^2}{\rho C} \ [W/cm^2],$$

în care f este frecvenţa, MHz;
U — tensiunea de excitaţie, kV.

Puterea acustică totală P_{ac}, debitată de plăcuţa piezoelectrică în funcţiune, va fi determinată prin produsul dintre intensitatea specifică a sunetului I [W/cm²] şi aria S [cm²] a plăcuţei piezoelectrice, adică $P_{ac} = IS$ [W].

În cazul radiaţiei bidirecţionale, valorile mărimilor, găsite cu formulele de mai sus, trebuie împărţite cu 4. Ţinînd seama de dublarea ariei de radiaţie în cazul radiaţiei bidirecţionale, puterea totală se va micşora aproximativ de două ori în comparaţie cu radiaţia unidirecţională. Intensitatea sunetelor produse de vibratoarele piezoelectrice depinde în mare măsură de calitatea confecţionării lor, de regimul de funcţionare, de răcire etc.

În medie, pentru cuarţ se poate lua o intensitate a sunetului de circa 20—30 W/cm². Este posibil să se obţină o intensitate a sunetelor de cîteva sute de w/cm² (în regim de impulsuri).

Pentru vibratoarele din titanat de bariu intensitatea medie a sunetelor este cuprinsă între 5 şi 8 W/cm², însă în cazul unei răciri suficiente intensitatea poate atinge 10—20 W/cm².

Amplitudinea presiunii sonore alternative se găseşte cu formula

$$p = \sqrt{2 I \rho C} \text{ [dine/cm}^2\text{]}.$$

Amplitudinea vitezei particulelor de lichid se calculează cu formula

$$V = \sqrt{\frac{2I}{\rho C}} \text{ [cm/s]}.$$

Pentru calculul puterii vibratoarelor piezoelectrice este necesar să se cunoască rezistenţa lor chimică.

Valorile acestor rezistenţe, în cazul radiaţiei într-un lichid, pot fi găsite cu următoarele formule:

pentru cuarţ

$$R_{vp} = \frac{7 \rho C \cdot 10^{-12}}{f^2 F} \text{ [Ω]};$$

pentru sarea Seignette

$$R_{vp} = \frac{1{,}9 \cdot 10^{-2} \rho C}{f^2 F} \text{ [Ω]};$$

pentru titanatul de bariu

$$R_{vp} = \frac{1{,}1 \cdot 10^{-2} \ldots 7 \cdot 10^{-4} \rho C}{f^2 F} \text{ [Ω]}.$$

În toate aceste cazuri:

ρC este rezistenţa acustică [gcm^{-2} s^{-1}];
f — frecvenţa, MHz;
F — aria vibratorului, cm², în cazul radiţiei unidirecţionale.
$2F$ — aria vibratorului în cazul radiaţiei bidirecţionale.

Puterea absorbită de cuarţ are valoarea:

$$P_{ex} = \frac{U_{ef}^2}{R_{vp}}.$$

Randamentul vibratoarelor piezoelectrice se calculează cu formula

$$\eta = \frac{P_{ac}}{P_{ex}}.$$

Pentru cuarţ se poate obţine o valoare a randamentului de circa 40—50%.

Formulele date mai sus permit să se determine numai ordinul de mărime necesar pentru evaluarea aproximativă a parametrilor. În practică, aceste date sînt precizate în cursul operaţiilor de reglare şi în timpul funcţionării instalaţiilor cu ultrasunete.

f) Focalizarea vibratoarelor piezoelectrice

În numeroase cazuri, pentru obţinerea unei energii ultrasonore de mare intensitate se foloseşte focalizarea energiei obţinute de la vibratoarele piezoelectrice. Focalizarea se realizează fie dînd vibratorului o formă specială, fie cu ajutorul unor lentile acustice. Există diferite tipuri de vibratoare piezoelectrice focalizatoare: inelare, sferice, parabolice etc. Toate acestea au rolul de a concentra energia radiată de întreaga suprafaţă de radiaţie într-un anumit punct sau într-un anumit plan. Datorită acestei concentraţii, în locul unde se concentrează undele ultrasonore (de pildă în pata focală) se poate obţine o intensitate care atinge valori considerabile.

În lucrările sale, L. D. Rozenberg a arătat că rezultate analoge se obţin şi în cazul cînd se folosesc lentile acustice. Lentilele acustice se utilizează pentru obţinerea imaginilor în defectoscopie şi pentru intensificarea acţiunii undelor ultrasonore în instalaţiile de laborator şi industriale. Lentilele folosite pentru undele sonore care se propagă într-un lichid pot fi alcătuite din cele mai diverse lichide şi din diferite materiale solide: mase plastice, metale etc. Lentilele acustice solide făcute din mase plastice pot fi utilizate numai pînă la intensităţi care nu depăşesc 1 W/cm^2 şi la frecvenţe sub 2 MHz. La intensităţi mai mari şi la frecvenţe mai înalte trebuie să se folosească lentile metalice. În cazurile cînd la limita de separaţie dintre lentila metalică şi lichid coeficientul de reflexie va atinge o valoare egală cu 0,8—0,9, pentru micşorarea acestui coeficient suprafeţele active ale lentilei se acoperă cu straturi „de mărire a transparenţei". Straturile de mărire a transparenţei de pe lentilele de aluminiu supuse acestui tratament se depun pe ambele părţi şi sînt făcute din lac de bachelită. În acest caz, cantitatea de energie care este lăsată să treacă se măreşte de cîteva ori.

Alegerea materialului este condiţionată de necesitatea de a apropia cît mai mult posibil valorile rezistenţelor acustice ale materialului vibratorului, lentilei şi mediului. În ultimul timp îşi găsesc aplicaţie lentilele din mai multe straturi, al căror principiu de alcătuire este identic cu principiul „măririi luminozităţii" la lentilele optice. Amplificarea obţinută cu ajutorul lentilelor acustice poate fi găsită în mod aproximativ din expresia

$$K = \frac{\pi^2 R^4}{\lambda^2 F^2} \eta_1 \eta_2,$$

în care: R este lungimea razei, cm;
λ — lungimea de undă în spaţiul imaginii, cm;
F — distanţa focală a lentilei, cm;
η_1 — un coeficient care ţine seama de reflexia provocată de limita de separaţie lentilă-mediu, care depinde de factorul ρC al lentilei şi al mediului;
r_2 — un coeficient care ţine seama de absorbţia sunetului în materialul din care este confecţionată lentila.

Lentilele acustice sînt similare cu cele optice.

Distanţa focală F a unei lentile biconcave poate fi determinată cu formula

$$F = \frac{nr_1 r_2}{(n-1)[d(n-1) + nr_1 + nr_2]},$$

în care: n este indicele de refracţie, egal cu C_1/C_2;
C_1 — viteza sunetului în mediu, cm/s;
C_2 — viteza sunetului în lentilă, cm/s;
d — grosimea lentilei pe axa principală, cm;
r_1 şi r_2 sînt razele de curbură ale lentilei (raza are semnul + dacă suprafaţa corespunzătoare este îndreptată cu convexitatea spre raza incidentă).

Pentru o lentilă plan-concavă această formulă se simplifică şi capătă forma

$$F = \frac{r_2}{n-1}.$$

În fig. 3.53 sînt ilustrate metodele de focalizare a sunetelor folosind lentile acustice şi o oglindă.

De la un vibrator plan, undele ultrasonore se propagă sub forma unui fascicul paralel. La o distanţă oarecare de vibrator, acest fascicul începe să devină divergent. Distanţa l pe care undele plane se propagă fără a diverge se determină cu formula

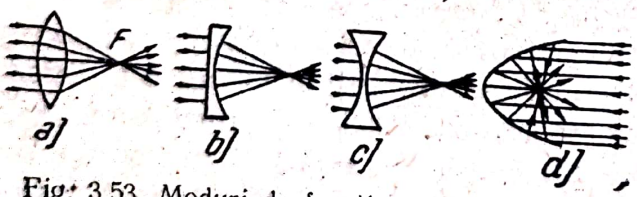


Fig. 3.53. Moduri de focalizare a ultrasunetelor cu ajutorul unor lentile sau al unei oglinzi.

$$l = \frac{R^2}{\lambda},$$

în care: R este raza vibratorului, cm;
λ — lungimea de undă a vibraţiilor ultrasonore, cm.

Divergenţa fasciculului de unde ultrasonore se determină cu formula

$$\sin\alpha = 1{,}2\frac{\lambda}{D},$$

în care: α este jumătate din unghiul de deschidere a conului fasciculului de ultrasunete;
D — diametrul vibratorului, cm;
λ — lungimea de undă a ultrasunetelor.

Scanned with OKEN Scanner

Dacă lîngă un vibrator de cuarţ este amplasată la o distanţă egală cu un multiplu de $\lambda/2$ o lentilă plan concavă, confecţionată din sticlă de cuarţ, distanţa focală f se va determina cu expresia

$$f = \frac{r}{1 - (C_l/C_s)},$$

în care: r este raza de curbură a suprafeţei concave a lentilei, cm;
C_l şi C_s — viteza sunetului în sticlă şi, respectiv, în lichid, cm/s.

Se cunosc metode de focalizare a unui fascicul de ultrasunete cu ajutorul unei oglinzi concave. În acest caz, în pata focală se poate obţine o intensitate maximă a sunetelor.

g) Exemplu de calcul al regimului electroacustic de funcţionare a unui vibrator din titanat de bariu

Aria de radiaţie a unei plăcuţe de titanat de bariu este

$$S = \frac{\pi D^2}{4}.$$

Pentru o plăcuţă cu $D = 50$ mm şi grosimea $d = 5$ mm, aria vibratorului va fi $S = 19{,}6$ cm^2.

Frecvenţa de rezonanţă (în raport cu grosimea) a vibratorului se determină cu formula

$$f = \frac{k}{d} = \frac{2\,200}{5} = 440 \text{ kHz}.$$

Intensitatea I a sunetelor radiate în mediu se calculează cu formula

$$I = \frac{14{,}4 \cdot 10^2 f^2 U_{ef}^2}{\rho_0 C_0}.$$

Pentru apă cu rezistenţa acustică $\rho_0 C_0 = 1{,}45 \cdot 10^5$ g $\cdot$ cm$^{-2} \cdot$ s^{-1}, în cazul radiaţiei unidirecţionale şi pentru $U_{ef} = 60$ V, intensitatea va fi

$$I = 7 \text{ W/cm}^2.$$

Puterea totală debitată de vibratorul piezoelectric este

$$P_{ac} = IS = 137 \text{ W}.$$

Amplitudinea presiunii sonore alternative, calculată cu formula dată mai sus, este

$$p = \sqrt{2 \cdot I \rho C} = 4{,}4 \text{ at}.$$

Amplitudinea vitezei de vibraţie a particulelor mediului este

$$V = \frac{\sqrt{2I}}{\rho C} = 31{,}4 \text{ cm/s}.$$

Admiţînd că randamentul vibratorului este egal cu 40%, găsim puterea electrică necesară pentru excitarea vibratorului:

$$P = \frac{P_{ac}}{\eta} \approx 343 \text{ W}.$$

h) Descrierea unor vibratoare piezoelectrice tip

În prezent, industria fabrică o serie întreagă de tipuri de vibratoare din titanat de bariu. Vibratoarele confecționate au formă și dimensiuni diferite (fig. 3.54).

În tabela 3.5 sînt prezentate datele cîtorva vibratoare fabricate de întreprinderile Consiliului economic orășănesc din Leningrad.

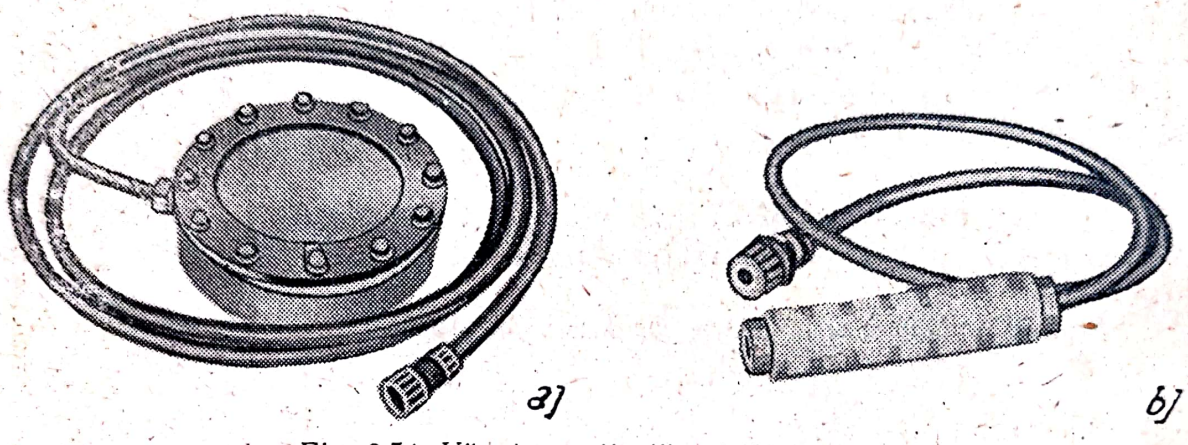


Fig. 3.54. Vibratoare din titanat de bariu:
a — vibrator unidirecțional plan cu frecvența de rezonanță de 250 kHz; *b* — vibrator tubular cu frecvența de rezonanță de 40 kHz.

În tabela 3.6 sînt expuse proprietățile fizico-mecanice și piezoelectrice ale vibratoarelor descrise mai sus.

CAPITOLUL 4

GENERATOARE ELECTRONICE CU FUNCȚIONARE CONTINUĂ[1])

4.1. GENERALITĂȚI

În mod obișnuit, se fabrică generatoare electronice pentru gamele de frecvențe de la 2—7 kHz pînă la 4—6 MHz, cu o putere de ieșire variind între 0,3 și 60 kW.

Aceste generatoare pot fi împărțite în următoarele grupe principale:

a) Generatoare de frecvență ultrasonoră joasă, care cuprind gama de frecvențe de la 2 pînă la 100 kHz și sînt destinate să funcționeze cu vibratoare magnetostrictive și electrodinamice.

b) Generatoare de ultrasunete de bandă largă, care cuprind banda de frecvențe de la 2 kHz pînă la 4—6 MHz și sînt destinate să funcționeze atît

[1]) Spre deosebire de generatoarele care lucrează în impulsuri, generatoarele electronice cu funcționare continuă furnizează energie ultrasonoră sub forma unei unde continue. (Nota red. E. T.).

Plăci			Cilindri			Prisme			Sfere		
Diametrul mm	Grosimea mm	Frecvența kHz	Diametrul exterior / Diametrul interior mm	Înălțimea mm	Frecvența inferioară kHz	Dimensiunile mm	Înălțimea mm	Frecvența kHz	Diametrul exterior mm	Diametrul interior mm	Frecvența kHz
8	0,5—10	3 000—250	16/10	10—40	130	7×7	3—15	750—200	10	8	210—220
8,5	0,5—10	3 000—250	20/14	10—40	88—90	4,8×4,8	2—8	1 000—250	20	16,4	130—175
10	0,5—15	3 000—150	20/14	—	—	8,8×8,8	3—15	750—150	20	16,4	105
11	1—15	2 000—150	20/17	10—40	88	9×7	2—10	1 000—200	30	25	90
11,5	1—15	2 000—150	22/14	10—40	88—90	10×10	3—10	750—200	50	43	55
12	1—15	2 000—150	25/20	10—40	88—90	11,5×11,5	3—10	750—200		Plăci	
12,5	3—10	750—250	30/24	10—50	48	24×9	3—10	750—200	Dimensiunile mm	Înălțimea	Frecvența
14	1—15	2 000—150	34/28	10—50	48	33×20	3—10	750—200			
15	1—15	2 000—150	34/28	10—50	—	33×23	3—10	750—200			
17	15—20	150—100	36/28	10—50	48	35×7	3—10	750—200	30×3	3,5	600
18	15—20	150—100	—			54×22			30×3	6	350
20	2—25	1 000—100	40/34	10—50	50	100×50	3—10	750—200	30×2,6	3	700
24	2—25	1 000—100	50/45	10—50	29	110×70	3—10	750—200	28×3	3	700
25	2—25	1 000—100	—	—	—	6,8×6,8	3—10	750—200		Rondele	
40	3—20	750—100	60/40	10—50	27	10×20	1—15	2 000—150	Diametrul exterior / Diametrul interior mm	Înălțimea mm	Frecvența kHz
48	3—20	750—100	70/50	10—60	21	16×91	1—15	2 000—150			
50	3—15	750—150	90/70	10—60	21	14×61	1—15	2 000—150			
52	3—15	750—150	—	—	—	21,5×28,5	1—15	2 000—150			
57	3—15	750—150	94/78	10—60	15	9×24	1—15	2 000—150	17/5,5	1,5—8	1 500—250
60	3—15	750—150	—	—	—				12/6	1,5—5	1 500—400
63	3—10	750—200	110/80	30—50	15				12/3	1,5—5	1 500—400
70	3—10	750—200	118/102	30—50	12				8/3	1—5	2 000—400
80	3—10	750—200	—	—	—				8/2	1—5	2 000—400
100	3—10	750—200	140/110	30—50	10—11				50/20	1—5	2 000—400
120	3—10	750—200	—	—	—						

Scanned with OKEN Scanner

TABELA 3 6

Denumirea proprietăților	$BaTiO_3$	Cu adaos de calciu $BaTiO_3$ — $CaTiO_3$
Densitatea, g/cm³	Cel mult 5,3	Cel puțin 5
Rezistența temporară la încovoiere, kgf/cm³	—	Cel puțin 500
Rezistența temporară la întindere, kgf/cm³	—	Cel puțin 200
Rezistivitatea de volum la 100°C, Ω.cm	—	Cel puțin 10^{10}
Constanta dielectrică în cîmp slab, la 20°C	1300 — 20 %	70 + 20 %
Modulul piezoelectric d_3 și d_{33}, unități CGSE;	Cel puțin $1{,}2 \cdot 10^{-6}$ și $2{,}4 \cdot 10^{-6}$	Cel puțin $0{,}8 \cdot 10^{-6}$ și $1{,}6 \cdot 10^{-6}$
Viteza sunetului, km/s	4,3 ± 3 %	4,45 ± 3 %
Modulul lui Young, dine/cm²	$0{,}95 — 1 \cdot 10^{12}$	—
Coeficient de comprimare transversală	Circa 0,3	—
Rigiditatea dielectrică, kV/cm	—	Cel puțin 2
Coeficientul de dilatare liniară, cu temperatura 1/grad	—	Cel mult $12 \cdot 10^{-6}$
Limita superioară a temperaturilor de lucru, °C	—	Pînă la 70—80

cu vibratoare magnetostrictive, cît și cu vibratoare piezoelectrice și electrodinamice:

c) Generatoare de ultrasunete de înaltă frecvență, care cuprind banda de frecvențe de la 100 kHz pînă la 4—6 MHz, care funcționează cu vibratoare piezoelectrice.

d) Generatoare de ultrasunete realizate pe baza unor instalații de înaltă frecvență pentru încălzirea prin inducție, sau pe bază de amplificatoare pentru radioficare și alte tipuri de amplificatoare.

Folosirea drept sarcină a unor diverse tipuri de vibratoare condiționează o serie întreagă de particularități care deosebesc generatoarele pentru obținerea ultrasunetelor de generatoarele electronice obișnuite.

Cînd se alege schema electrică de principiu a generatoarelor de ultrasunete de frecvență joasă, apare o contradicție între tendința de a obține, pe de o parte, un randament înalt, simplitate și cost scăzut al instalației, iar pe de o altă parte — de a asigura stabilitatea frecvenței într-o gamă largă și posibilitatea reglării fine a frecvenței și a puterii debitate. În plus, este necesar să se realizeze prin mijloace simple adaptarea sarcinii de rezistență mică cu rezistența de ieșire a generatorului.

Gama de frecvențe 2—100 kHz este caracteristică prin faptul că folosirea tolelor obișnuite de transformator pentru transformatoarele de cuplaj între tuburi și cele de ieșire duce la deformarea caracteristicii de frecvență și la pierderi mari de putere la limita superioară a gamei de frecvență. Utilizarea unor aliaje speciale (de tip permalloy) duce la o scumpire apreciabilă a instalației, iar folosirea unor transformatoare fără miezuri micșorează randamentul și cauzează o mărire considerabilă a dimensiunilor de gabarit ale instalației, în cazul funcționării la partea inferioară a gamei de frecvențe. În afară de aceasta, condițiile impuse stabilității frecvenței în cazul unor variații mari ale

Scanned with OKEN Scanner

sarcinii și necesitatea reglării puterii de ieșire limitează posibilitatea de folosire a unor scheme de oscilatoare electronice cu un singur tub. În același timp, schemele cu mai multe etaje, în care se folosesc oscilatoare pilot independente și etaje separatoare cu amplificatoare de putere, provoacă scumpirea instalațiilor și scăderea randamentului lor global.

În legătură cu particularitățile expuse mai sus ale generatoarelor de ultrasunete de frecvență joasă, în prezent nu există o schemă universală de generator care să îndeplinească în întregime toate condițiile necesare. De aceea, industria fabrică diverse generatoare de frecvență ultrasonoră joasă, atît pe baza schemei cu autoexcitație, fără folosirea tolelor, cît și pe baza schemei cu mai multe etaje și cu oscilator pilot independent.

Generatoarele de joasă frecvență sînt realizate de obicei conform schemei cu autoexcitație și cu transformatoare fără miezuri de fier. Ele sînt folosite îndeosebi pentru efectuarea unor anumite operații tehnologice pe o frecvență fixă, cu o gamă de acord foarte mică, de exemplu de 18—25 kHz, nu au dispozitive de reglare pentru variația puterii de ieșire, se disting prin simplitatea schemei și a construcției; costul lor este relativ scăzut.

În ultimul timp, pentru scopuri analoge au început să fie fabricate generatoare de joasă frecvență realizate conform schemei de invertor electronic. De obicei, aceste generatoare sînt construite cu 2 sau 4 tuburi răcite cu apă, care funcționează în contratimp și generează impulsuri de curent anodic de formă dreptunghiulară. Sarcina tuburilor este un circuit oscilant acordat pe frecvența primei armonice.

Generatoarele de frecvența ultrasonoră joasă, calculată pentru o gamă de frecvențe de lucru mai largă (de exemplu 10—40 kHz sau 30—100 kHz), sînt realizate de regulă conform schemelor cu mai multe etaje și cu oscilator pilot independent și posedă o serie de dispozitive de reglare suplimentare și de dispozitive de măsurare. Aceste generatoare, care cuprind gama frecvențelor ultrasonore joase, folosesc atît transformatoare de cuplaj între tuburi și transformatoare de ieșire, cu miezuri din fier sau din permalloy, cît și transformatoare fără miezuri de fier. Natural, randamentul unor asemenea generatoare este mai scăzut, iar dimensiunile de gabarit și costul sînt mai mari decît la generatoarele care au o gamă de frecvențe mai îngustă.

În componența unui generator pentru frecvențe ultrasonore joase, care funcționează cu vibratoare magnetostrictive, se include un redresor ce asigură alimentarea cu curent de premagnetizare a vibratoarelor magnetostrictive. În acest scop se folosesc de regulă redresoare cu seleniu sau cu gazotroane, proiectate pentru obținerea unui curent redresat pînă la 50 A pentru o tensiune pînă la 24 V.

Conectarea vibratorului magnetostrictiv la generator și la redresorul de premagnetizare se înfăptuiește conform schemelor arătate în fig. 4.1. Atît în cazul folosirii a două bobinaje separate (fig. 4.1, *a*) cît și în cazul utilizării unui singur bobinaj pentru excitație și premagnetizare (fig.4.1, *b*) se folosește

un filtru opreşte bandă (o inductanţă şi o capacitate în circuitul sursei de curent continuu) pentru evitarea pierderilor mari de curent de excitaţie în circuitul redresorului de premagnetizare; în plus, în fig. 4.1, *b* se recurge la un condensator separator, care protejează ieşirea generatorului împotriva pătrunderii curentului continuu de premagnetizare.

Trebuie să se menţioneze că filtrul opreşte bandă este conectat în paralel cu bobinajul vibratorului magnetostrictiv şi constituie un sistem oscilant cuplat electric cu acesta. Alegerea corectă a capacităţii separatoare a filtrului menţionat constituie una dintre problemele adaptării ieşirii generatorului cu sarcina, pentru obţinerea regimului optim.

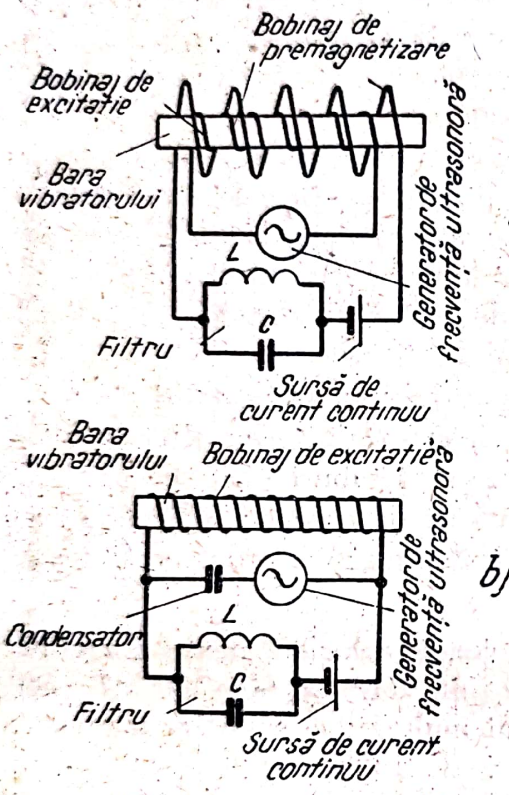


Fig. 4.1. Scheme de conectare a vibratorului la generator:
a — folosind două bobinaje (de excitaţie şi de premagnetizare); *b* — folosind un singur bobinaj comun pentru excitaţie şi premagnetizare.

Generatoarele de ultrasunete de bandă largă, care funcţionează în gama de frecvenţe cuprinsă între 2 kHz şi 4—6 MHz sînt realizate de obicei conform montajului cu autoexcitaţie. Transformatoarele de cuplaj sînt construite sub forma unor bobine fără miezuri de fier.

Generatoarele de bandă largă nu acoperă întreaga gamă prin acord fin, ci au cîteva puncte de acord repartizate uniform pe întreaga gamă. Variaţia frecvenţei se face între limite mici pentru fiecare punct de acord al gamei. Schimbarea subgamelor de frecvenţe se efectuează prin schimbarea sau comutarea bobinelor din circuitul acordat al generatorului şi prin variaţia capacităţii condensatoarelor din acest circuit. Reglarea fină a frecvenţei, între limite înguste, se înfăptueşte cu ajutorul unor variometre şi condensatoare variabile conectate în circuitul acordat al generatorului. Evident, din cauza valorilor apreciabile ale capacităţii şi inductanţei elementelor circuitului acordat al oscilatorului pilot, la partea inferioară a gamei de frecvenţe, reglarea fină a frecvenţei cu ajutorul variometrelor şi condensatoarelor variabile este dificilă şi poate fi realizată numai între limite neînsemnate. O dată cu creşterea frecvenţei, la partea superioară a gamei de frecvenţe, reglarea fină a frecvenţei cu ajutorul elementelor de reglare cuprinde o bandă de frecvenţă mai largă, iar la frecvenţe peste 1 MHz variaţia fină a frecvenţei poate fi obţinută fără schimbarea bobinelor din circuitul acordat şi fără comutarea unor condensatoare de capacitate fixă.

Generatoarele de ultrasunete de bandă largă sînt utilizate mai ales pentru lucrări experimentale cu vibratoare magnetostrictive, piezoelectrice şi

electrodinamice. Ele au dimensiuni de gabarit relativ mari, un randament global scăzut și un cost relativ ridicat.

Generatoarele de ultrasunete de înaltă frecvență care funcționează în gama de frecvențe cuprinsă între 100 kHz și 4—6 MHz sînt construite de obicei conform montajului cu autoexcitație.

La aceste generatoare, reglarea frecvenței se face fin pe întreaga gamă, cu ajutorul unui condensator variabil și al unui variometru, conectate în circuitul acordat al oscilatorului. Pentru îmbunătățirea reglării frecvenței, la partea inferioară a gamei se folosește comutarea unor condensatoare de capacitate fixă.

Ieșirea generatorului trebuie să fie calculată în așa fel, încît să permită funcționarea atît cu vibratoare de cuarț, cît și cu vibratoare din titanat de bariu. Pentru cuarț, tensiunea de înaltă frecvență trebuie să fie de ordinul a 2—20 kV, iar pentru vibratoarele din titanat de bariu, tensiunea de înaltă frecvență trebuie să fie de ordinul a 50—300 V. Tensiunea înaltă pentru alimentarea vibratorului de cuarț se ia în mod obișnuit direct din circuitul anodic al generatorului, prin intermediul unui condensator separator.

Pentru alimentarea vibratorului din titanat de bariu este necesar să se micșoreze tensiunea de înaltă frecvență cu ajutorul unui transformator coborîtor de tensiune, fără miez de fier. Aceasta se realizează prin înfășurarea a 2—10 spire din conductor de cupru pe deasupra bobinei anodice a circuitului acordat al generatorului. Generatoarele de ultrasunete de înaltă frecvență se disting prin simplitatea schemei și a construcției, prin randamentul relativ înalt și prin costul relativ redus.

În plus, în numeroase cazuri, pentru obținerea ultrasunetelor își găsesc aplicație instalațiile industriale pentru încălzirea prin inducție (de exemplu ЛГЗ și ЛГЕ) și amplificatoarele de radioficare (ТУ), adaptate pentru funcționarea în gama de frecvențe ultrasonore.

Instalațiile ЛГЗ și ЛГЕ sînt generatoare de înaltă frecvență cu tuburi electronice, realizate conform montajului cu autoexcitație, folosind unul sau două tuburi generatoare. Ele posedă aproape toate elementele proprii generatoarelor speciale de ultrasunete, inclusiv aparatele necesare de măsurat și control și dispozitivele pentru reglarea frecvenței și a valorii curentului și tensiunii.

Modificarea instalațiilor ЛГЕ și ЛГЗ, pentru a putea produce vibrații ultrasonore cu vibratoare corespunzătoare, constituie o problemă relativ simplă. În mod obișnuit, această modificare se reduce sau la introducerea schimbărilor necesare în schemă, sau la construirea unor adaptoare speciale care să conțină elemente de reglare (capacități adiționale și bobine de inductanță) pentru obținerea gamei necesare de frecvențe ultrasonore.

Adaptarea amplificatoarelor de radioficare tip ТУ pentru funcționarea, mai ales, cu vibratoare magnetostrictive se reduce la conectarea, la intrarea amplificatorului, a unui oscilator pilot de audiofrecvență de un tip oarecare, de pildă ЗГ-10 sau ЗГ-12. Fără nici un fel de modificări esențiale, amplificatoarele de radioficare de tip ТУ pot funcționa satisfăcător pînă la frecvențe de ordinul a 8—12 kHz.

Pentru mărirea benzii de trecere a amplificatorului ТУ este necesar să se modifice transformatorul de ieşire şi transformatoarele de cuplaj între etaje, micşorînd — prin secţionarea bobinajelor — influenţa capacităţilor dintre spire. De asemenea, trebuie să se corecteze forma curbei tensiunii de înaltă frecvenţă, prin conectarea unor elemente corectoare suplimentare. În felul acesta se reuşeşte să se lărgească banda de trecere a amplificatoarelor de radioficare pînă la 20—30 kHz. Înrăutăţirea apreciabilă a caracteristicii de frecvenţă la frecvenţele inferioare (sub 2—5 kHz), care apare în acest caz, nu este un factor hotărîtor, deoarece aceste frecvenţe sînt folosite extrem de rar pentru funcţionarea cu vibratoare magnetostrictive.

În afară de amplificatoarele de tip ТУ, îşi găsesc aplicaţie amplificatoarele de bandă largă de diferite puteri.

După cum reiese din cele expuse mai sus, generatoarele de ultrasunete cu destinaţie industrială sînt realizate mai ales sub formă de oscilatoare cu unul sau două tuburi generatoare.

În cele ce urmează sînt prezentate descrierile, caracteristicile şi schemele tip ale generatoarelor de ultrasunete, de diverse construcţii.

4.2 GENERATOARE DE FRECVENŢĂ ULTRASONORĂ JOASĂ

a) Generatoare de tip УЗГ

Generatoarele de tip УЗГ sînt destinate să funcţioneze cu vibratoare magnetostrictive într-o gamă îngustă de frecvenţe ultrasonore joase. În prezent, se fabrică generatoare УЗГ de 3 tipuri: УЗГ-10, УЗГ-2,5 şi УЗГ-1.

În stadiul de fabricaţie se găsesc şi generatoarele УЗГ- şi ТЗГ-20.

Caracteristicile tehnice principale ale generatoarelor enumerate sînt date în tabela 4.1.

Generatoarele УЗГ-20, УЗГ-10, УЗГ-5, УЗГ-2,5 şi УЗГ-1[1]) se disting între ele prin valorile nominale ale puterii de ieşire şi prin unele particulari-

TABELA 4.1

Caracteristici tehnice principale	Tipul generatorului				
	УЗГ-20	УЗГ-10	УЗГ-5	УЗГ-2,5	УЗГ-1
Puterea absorbită, kW	40	pînă la 20	12	6,5	3 - 4
Puterea de ieşire kW	24	9,5	6	3,0	1,25
Frecvenţa de lucru, kHz	18—25	18—24	18—25	18—25	18—25
Tipul tubului generator	ГУ—10А	ГУ—10А (ГУ—89А)	ГУ—5А	ГУ—5А (ГУ—27А)	ГУ—27А
Debitul minim al apei de răcire, l/min	—	10	—	8	5
Tensiunea reţelei de alimentare, V	220/380	220/380	220/380	220/380	220/380
Numărul de faze ale reţelei de alimentare	3	3	3	3	1
Dimensiunile de gabarit, mm	840×840×2 020	700×850×1 800	—	780×560×1 400	600×400×1 025
Greutatea, kg	800	620	—	400	—

[1]) Elaborate de Iu Kitaigorodski şi colaboratorii.

tăți ale schemei și construcției. Limitele de reglare a frecvenței generatoarelor sînt aproximativ identice (18—25 kHz) și cuprind gama de funcționare a vibratoarelor magnetostrictive. Stabilitatea suficientă a frecvenței, pentru funcționarea cu vibratoare magnetostrictive, este asigurată fără a se recurge la nici un fel de măsuri speciale.

La toate generatoarele de tip УЗГ, pentru mărirea stabilității frecvenței și a randamentului vibratorului, în circuitul redresoarelor anodice sînt conectate filtre care asigură micșorarea coeficientului de modulație al tensiunii de ieșire, pînă la 5—7%.

Reglarea fină a frecvenței oscilatoarelor se realizează prin variația inductanței circuitului acordat, iar reglarea în trepte — prin variația capacității unei baterii de condensatoare. Bobina circuitului acordat se compune dintr-o parte mobilă și una fixă. Cînd aceste părți se deplasează una în raport cu alta, inductanța mutuală variază. Prin conectarea în sens opus a bobinelor se obține un grad mai mare de reglare a inductanței, precum și atenuarea cîmpului magnetic exterior. Datorită acestui fapt, pierderile din panourile metalice ale generatorului și din carcasă, provocate de inducerea unor curenți turbionari, sînt relativ mici.

Generatorul tip УЗГ-*20* este destinat în deosebi alimentării unui mare număr de vibratoare magnetostrictive, care funcționează într-un mediu lichid. Montajul de oscilator folosit în generatorul tip УЗГ-20 este analog cu acela al generatorului УЗГ-10 (vezi mai jos). Generatorul este realizat conform montajului în contratimp, cu autoexcitație, folosind două tuburi ГУ-10 А. Alimentarea anodică se face în paralel, fără condensatoare separatoare. În montaj s-a prevăzut mărirea randamentului generatorului pînă la 80—85%, datorită impulsului dreptunghiular obținut la anozii și grilele tuburilor cu ajutorul bobinei de șoc anodice și al celei de grilă. Circuitul acordat se găsește în circuitul anodului și este format din bobina de inductanță, legată în paralel cu o baterie de condensatoare.

Variația fină a frecvenței se înfăptuiește prin variația înductanței, iar variația în trepte — prin conectarea (sau deconectarea) unor capacități. Reacția se realizează prin intermediul unui transformator. Vibratoarele magnetostrictive sînt conectate printr-un transformator de adaptare, al cărui bobinaj primar este legat în paralel cu circuitul acordat al generatorului.

În schema generatorului de tip УЗГ-20 s-a prevăzut protecția principalelor subansambluri împotriva acțiunii curenților de pornire. Aceasta se realizează prin blocarea — în momentul aplicării tensiunii înalte — a redresorului principal cu tiratroane, folosind o tensiune negativă, de la un redresor special.

Vibratoarele sînt conectate în serie — paralel în raport cu înalta frecvență, iar în raport cu curentul de premagnetizare sînt legate în paralel. Plusul redresorului de premagnetizare este conectat la priza mediană a bobinajului secundar, iar minusul — la punctul median al vibratoarelor.

Curentul continuu din bobinajele transformatorului de ieșire este dirijat în așa fel, încît fluxurile magnetice create de acest curent să se anihileze reciproc și să nu influențeze regimul de funcționare al transformatorului.

Generatorul este calculat pentru funcţionarea concomitentă a două, patru, şase şi opt vibratoare de tip ПМС-6 (adică un număr par de asemenea vibratoare).

Din punct de vedere constructiv, generatorul este realizat sub forma de blocuri mari.

Generatorul УЗГ-*10*. Schema de principiu a generatorului este arătată în fig. 4.2.

Reglarea fină a frecvenţei se face prin variaţia inductanţei L_1, iar reglarea în trepte — prin conectarea (sau deconectarea) condensatoarelor C_{19-22}.

Sarcina (vibratoare magnetostrictive tip ПМС) este conectată prin intermediul transformatorului de adaptare Tr_2, al cărui bobinaj primar este legat în paralel cu circuitul acordat.

Vibratoarele sînt polarizate cu curentul cortinuu de premagnetizare de la un redresor cu seleniu. Reglarea tensiunii redresorului se face cu ajutorul autotransformatorului Tr_5.

Regimurile electrice ale generatorului şi surselor de alimentare se controlează utilizînd aparate de măsurat. Conectarea generatorului este posibilă numai după punerea în funcţiune a instalaţiei de răcire cu apă şi după închiderea contactelor releelor din circuitul apei de răcire. Concomitent se aplică tensiunea la motoarele electrice ale ventilatoarelor care trimit curentul de aer de răcire spre tubul generator şi circuitul acordat.

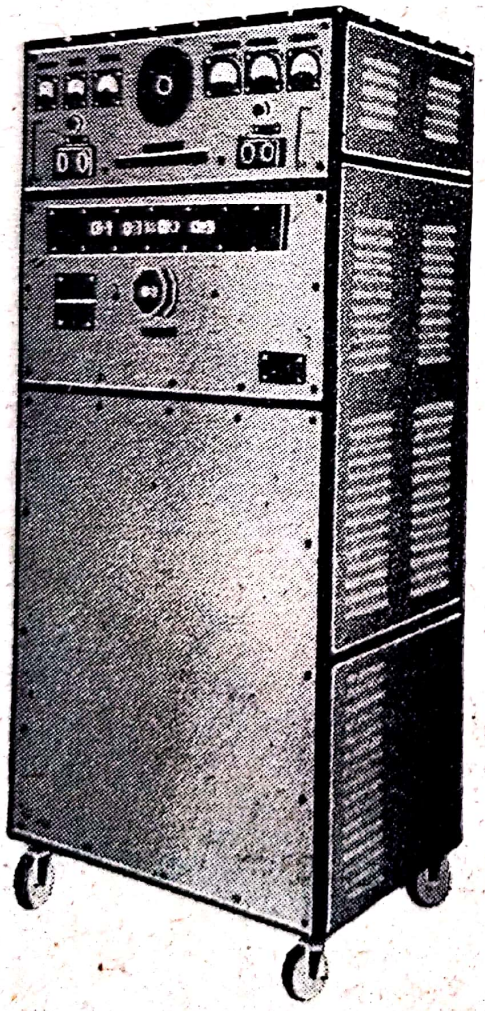


Fig. 4.3. Aspectul exterior al generatorului УЗГ-10.

Aspectul exterior al generatului УЗГ-10 este reprezentat în fig. 4.3.

Regimul optim de funcţionare a generatorului poate fi controlat cu aparatele de măsurat ale acestuia. Este însă mai corect să se folosească aparatele acustice speciale descrise în cap. 2.

Vibratoarele magnetostrictive conectate în paralel trebuie să aibă parametri identici şi aceeaşi frecvenţă proprie a vibraţiilor mecanice. În caz contrar ele nu vor putea funcţiona concomitent în regimul optim. Trebuie să se aibă în vedere faptul că fiecare vibrator este echivalent cu un circuit electric acordat. Împreună cu circuitul oscilant principal al generatorului, ele formează un sistem de circuite cuplate strîns, care posedă mai multe frecvenţe de rezonanţă. Dacă toate vibratoarele sînt identice, sistemul se compune din două circuite oscilante şi sînt posibile oscilaţii de două tipuri. După ce vor apărea oscilaţiile de un tip, ele vor exista şi

Scanned with OKEN Scanner

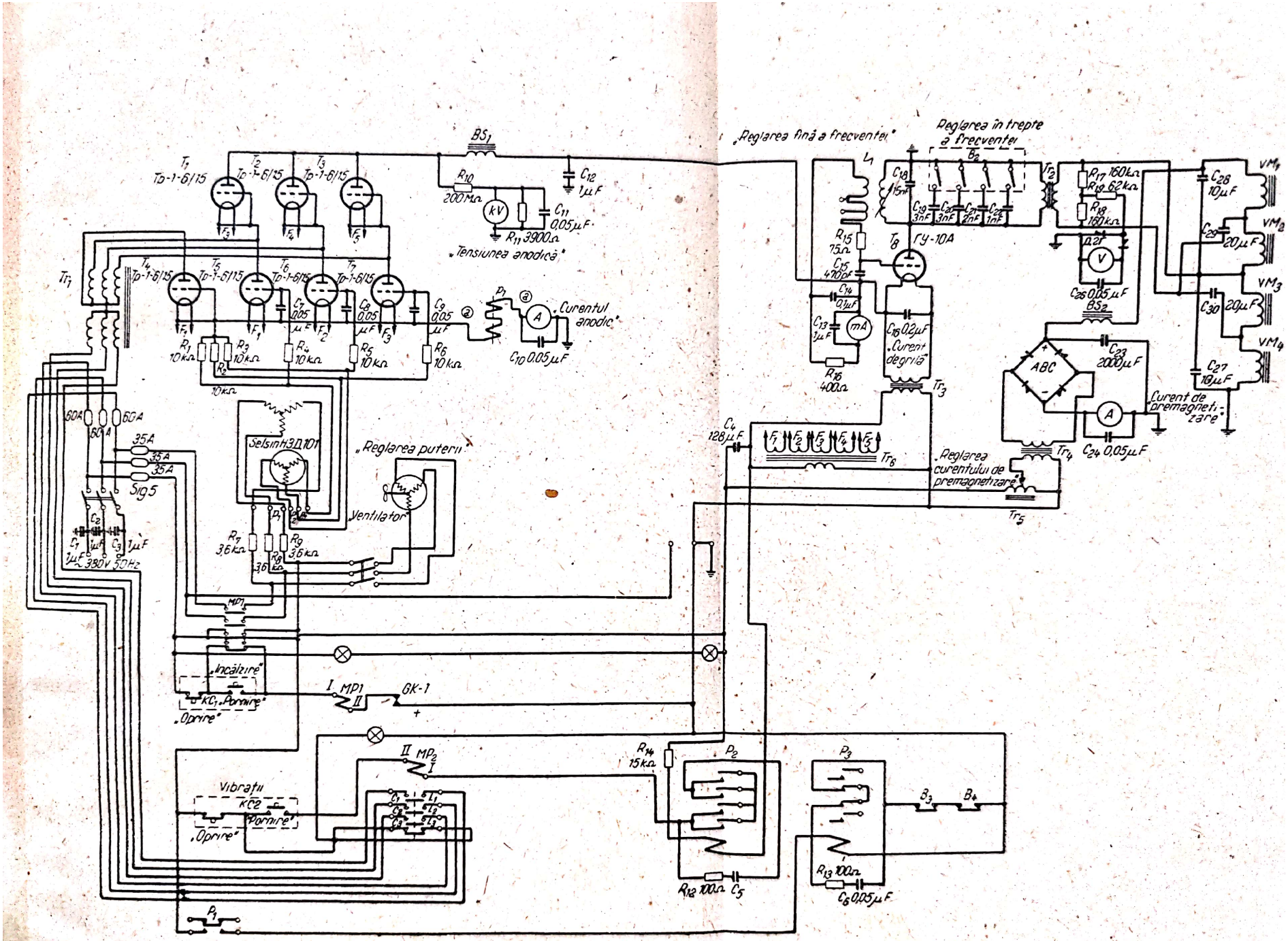
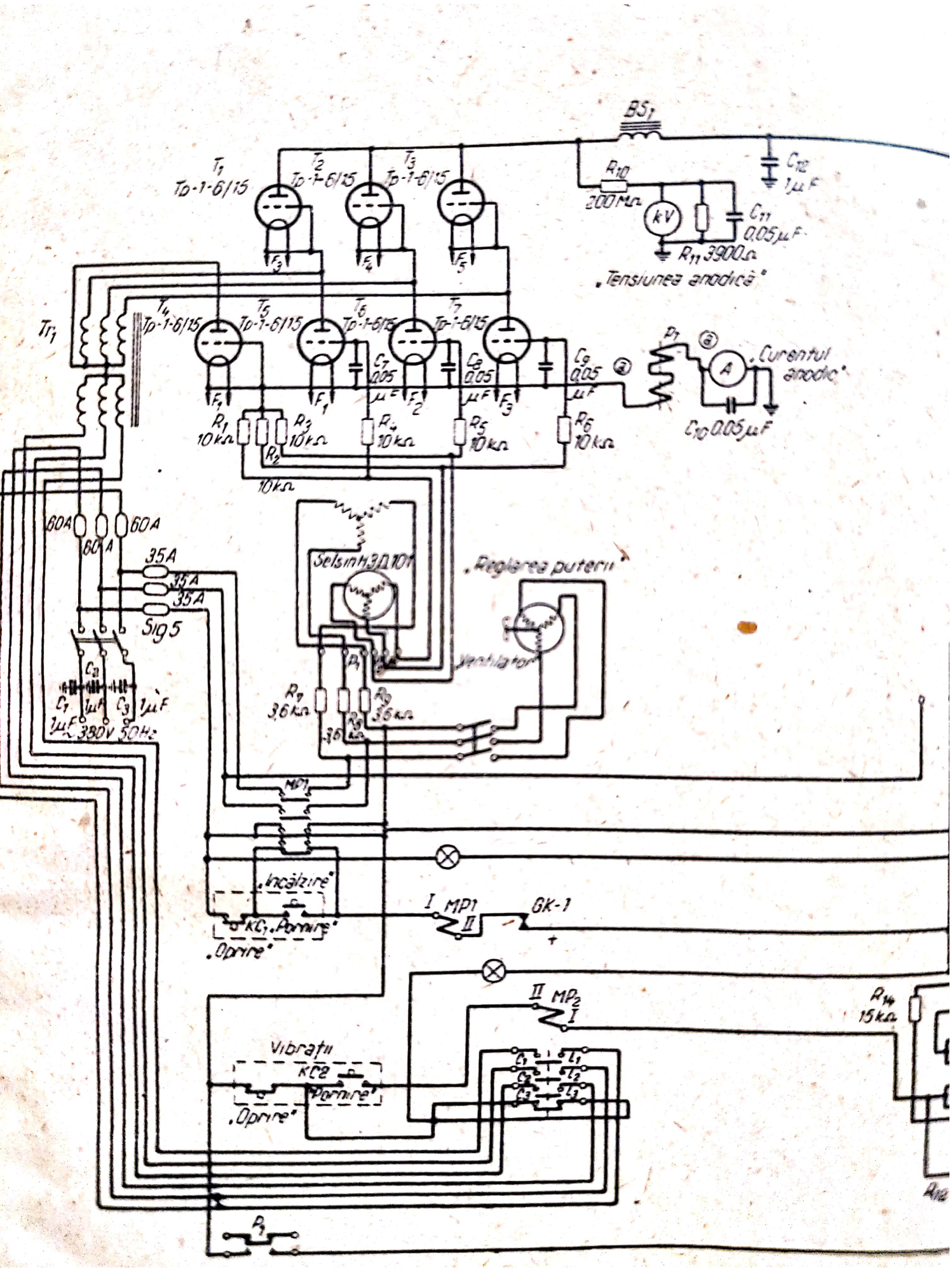
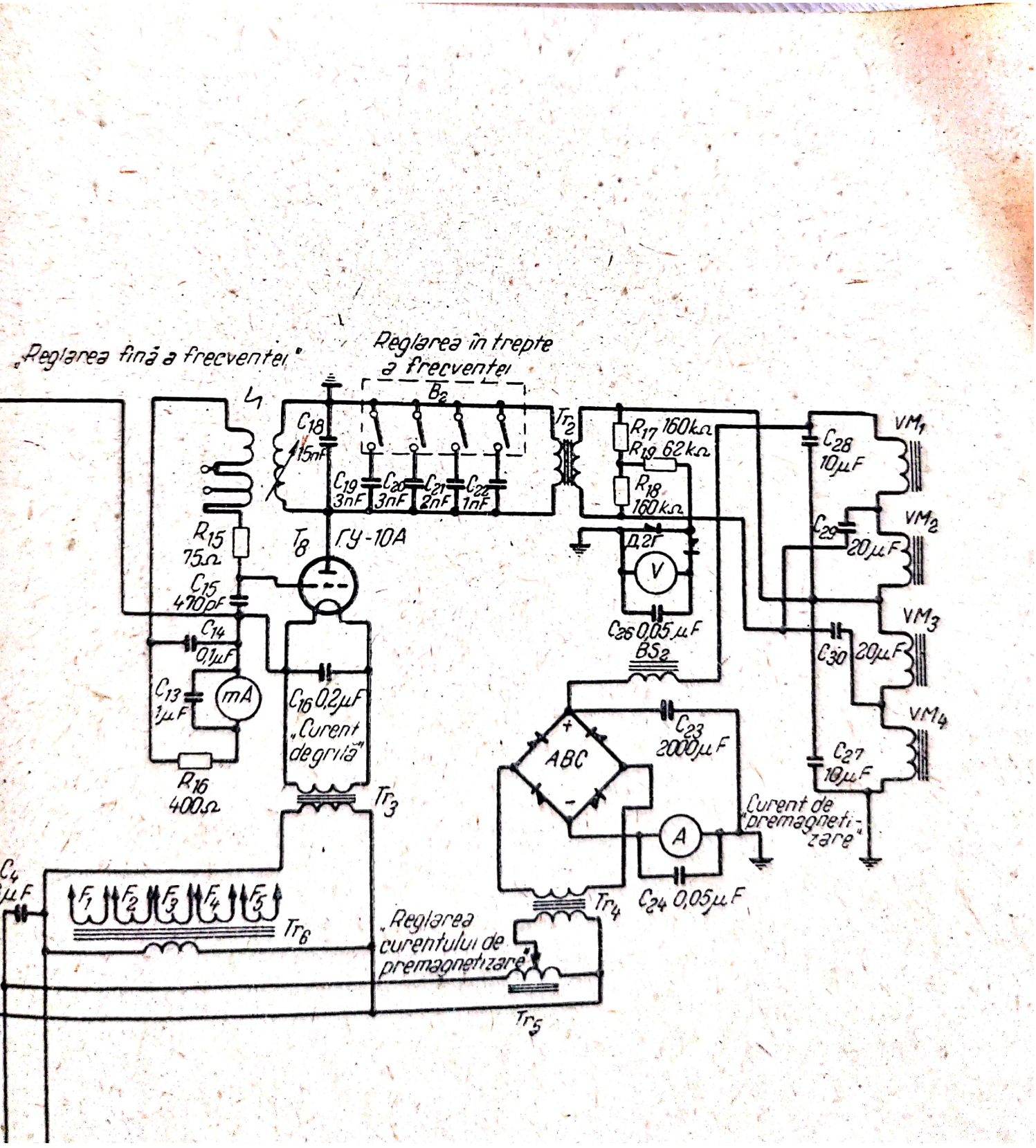
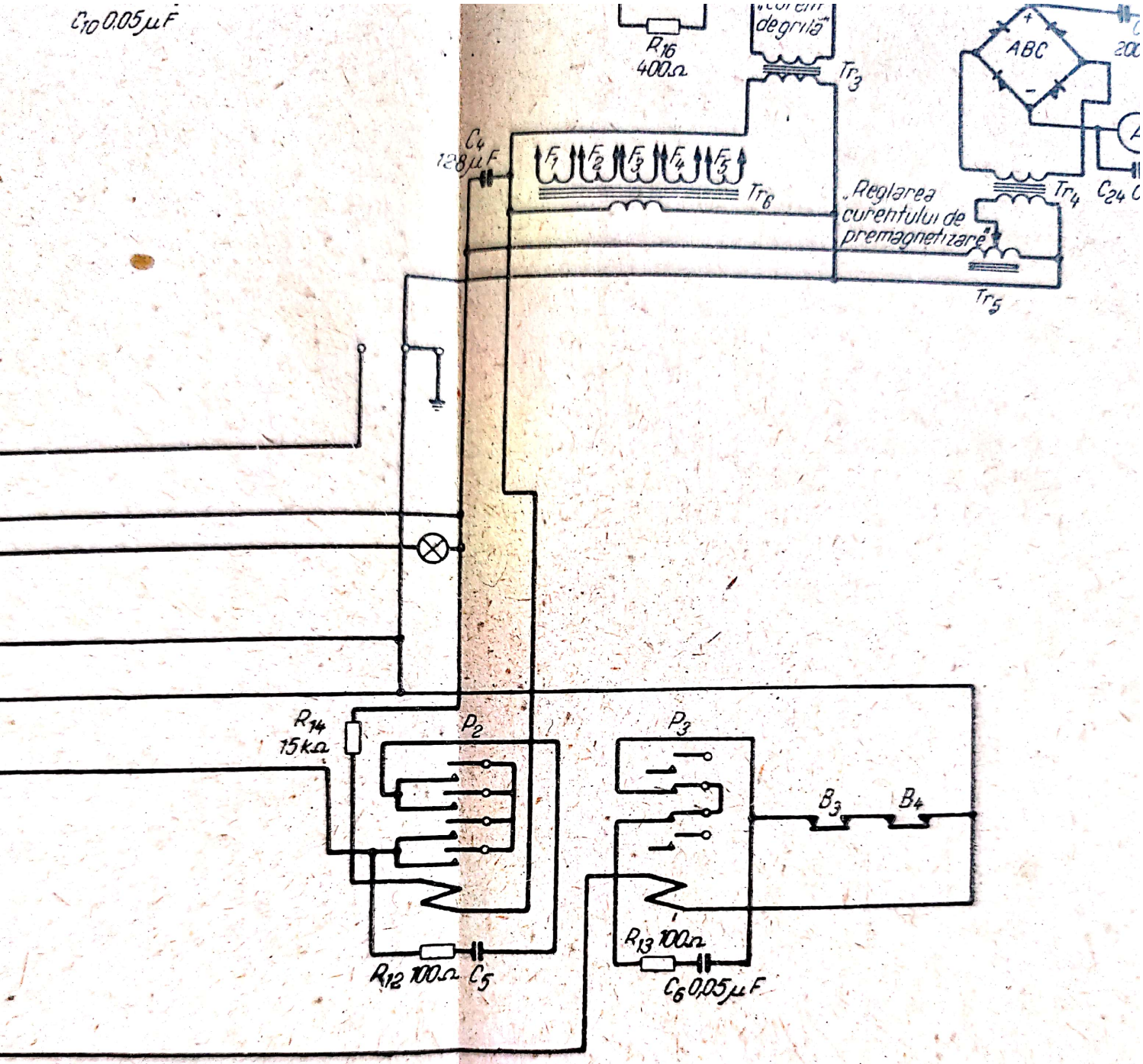


Fig. 4.2. Schema de principiu a generatorului УЗГ-10.


BS1
T1 Tp-1-6/15
T2 Tp-1-6/15
T3 Tp-1-6/15
R10 200MΩ
kV
C11 0,05μF
R11 3900Ω
C12 1μF
„Tensiunea anodică"
Tr1
T4 Tp-1-6/15
T5 Tp-1-6/15
T6 Tp-1-6/15
T7 Tp-1-6/15
C7 0,05 μF
C8 0,05 μF
C9 0,05 μF
P1
A
„Curentul anodic"
C10 0,05μF
R1 10kΩ
R2 10kΩ
R3 10kΩ
R4 10kΩ
R5 10kΩ
R6 10kΩ
60A
35A
Sig5
Selsin H3Д101
„Reglarea puterii"
Ventilator
C1 1μF
C2 1μF
C3 1μF
~380V 50Hz
R7 3,6kΩ
R8 3,6kΩ
R9 3,6kΩ
MP1
„Incălzire"
KC1 „Pornire"
„Oprire"
I MP1 II
GK-1
II MP2 I
R14 15kΩ
Vibrații
KC2 „Pornire"
„Oprire"
C1 L1
C2 L2
C3 L3
P1


„Reglarea fină a frecvenței"
Reglarea în trepte a frecvenței
B_2
C_{18} 15nF
C_{19} 3nF
C_{20} 3nF
C_{21} 2nF
C_{22} 1nF
Tr_2
R_{17} 160kΩ
R_{19} 62kΩ
R_{18} 160kΩ
R_{15} 75Ω
T_8 ГУ-10А
C_{15} 470pF
C_{14} 0,1μF
C_{13} 1μF
mA
C_{16} 0,2μF „Curent de grilă"
R_{16} 400Ω
Tr_3
0,2r
V
C_{26} 0,05μF
BS_2
C_{28} 10μF
C_{29} 20μF
C_{30} 20μF
C_{27} 10μF
VM_1
VM_2
VM_3
VM_4
ABC
C_{23} 2000μF
A
Curent de „premagnetizare"
C_{24} 0,05μF
Tr_4
C_4 μF
F_1 F_2 F_3 F_4 F_5
Tr_6
„Reglarea curentului de premagnetizare"
Tr_5



4.2. Schema de principiu a generatorului УЗГ-10.

Scanned with OKEN Scanner

atunci cînd variază frecvența proprie a circuitului oscilant al generatorului. Numai în cazul unei variații apreciabile a inductanței circuitului oscilant vor apărea oscilații de al doilea tip.

În sarcină se debitează puterea maximă atunci cînd acordul sistemului de circuite oscilante corespunde trecerii de la un tip de oscilații la altul.

Dacă vibratoarele nu trebuie să funcționeze cu randament maxim, este necesar să se dezacordeze circuitul sau să se micșoreze curentul de premagnetizare. O dată cu schimbarea numărului de vibratoare care funcționează în paralel, este necesar să se conecteze (sau să se deconecteze) unul sau două condensatoare suplimentare, montate în bateria de condensatoare a circuitului.

Cînd generatorul debitează pe o sarcină dezacordată (sau funcționează fără sarcină), crește puternic curentul din circuitul oscilant, fapt care poate duce la supraîncălzirea lui.

Toate recomandările care se referă la exploatarea generatorului УЗГ-10 sînt valabile și pentru toate celelalte generatoare cu tuburi electronice, de acest tip.

Generatorul УЗГ-5. Montajul oscilator al generatorului tip УЗГ-5 este analog cu montajul generatorului de tip УЗГ-2,5 (vezi mai jos).

Generatorul este construit conform montajului în contratimp cu două tuburi ГУ-5 А, ceea ce permite ca randamentul generatorului să fie mărit pînă la 80%. Datorită faptului că la anozii și grilele tubului se obține un impuls dreptunghiular, scade puterea disipată la anozii tuburilor. În acest scop se utilizează o bobină de șoc anodică și una de grilă.

Circuitul care determină frecvența oscilațiilor este compus din elemente L și C și este conectat în circuitul catodic al tuburilor. De la acest circuit tensiunea este aplicată la grilele tuburilor prin transformatorul de grilă ridicător de tensiune.

În circuitul anodic, în paralel cu anozii tuburilor și cu bobina de șoc anodică, este conectat un transformator de ieșire cu capacități de compensare.

Prin variația capacității se alege compensarea necesară a bobinajului primar al transformatorului de ieșire, în funcție de minimul curentului anodic.

Generatorul este proiectat să funcționeze cu unul sau două vibratoare de tip ПМС-6 sau de tip ПМС-7, ПМС-15.

Generatorul УЗГ-2,5. Schema de principiu a acestui generator este dată în fig. 4.4.

Reglarea fină a frecvenței se face prin variația inductanței, iar reglarea în trepte — prin conectarea (sau deconectarea) unor condensatoare.

Sarcina VM (vibratoare magnetostrictive) este conectată prin intermediul transformatorului de adaptare Tr_2, al cărui bobinaj primar este legat la bornele circuitului oscilant.

Vibratoarele VM sînt premagnetizate cu un curent continuu furnizat de redresorul cu seleniu RS. Reglarea tensiunii redresorului se face cu ajutorul autotransformatorului Tr_4. Transformatorul Tr_3 este un transformator coborîtor de tensiune. Bobina de șoc BS_1 și condensatorul C_{12} formează filtrul redresorului. Condensatorul C_9 servește la separarea căilor de curent continuu și curent alternativ.

Regimurile electrice ale generatorului şi surselor de alimentare se controlează folosind aparate de măsurat.

Alimentarea circuitelor de filament este posibilă numai după conectarea instalaţiei de răcire cu apă şi după închiderea contactelor releului *HR*, din

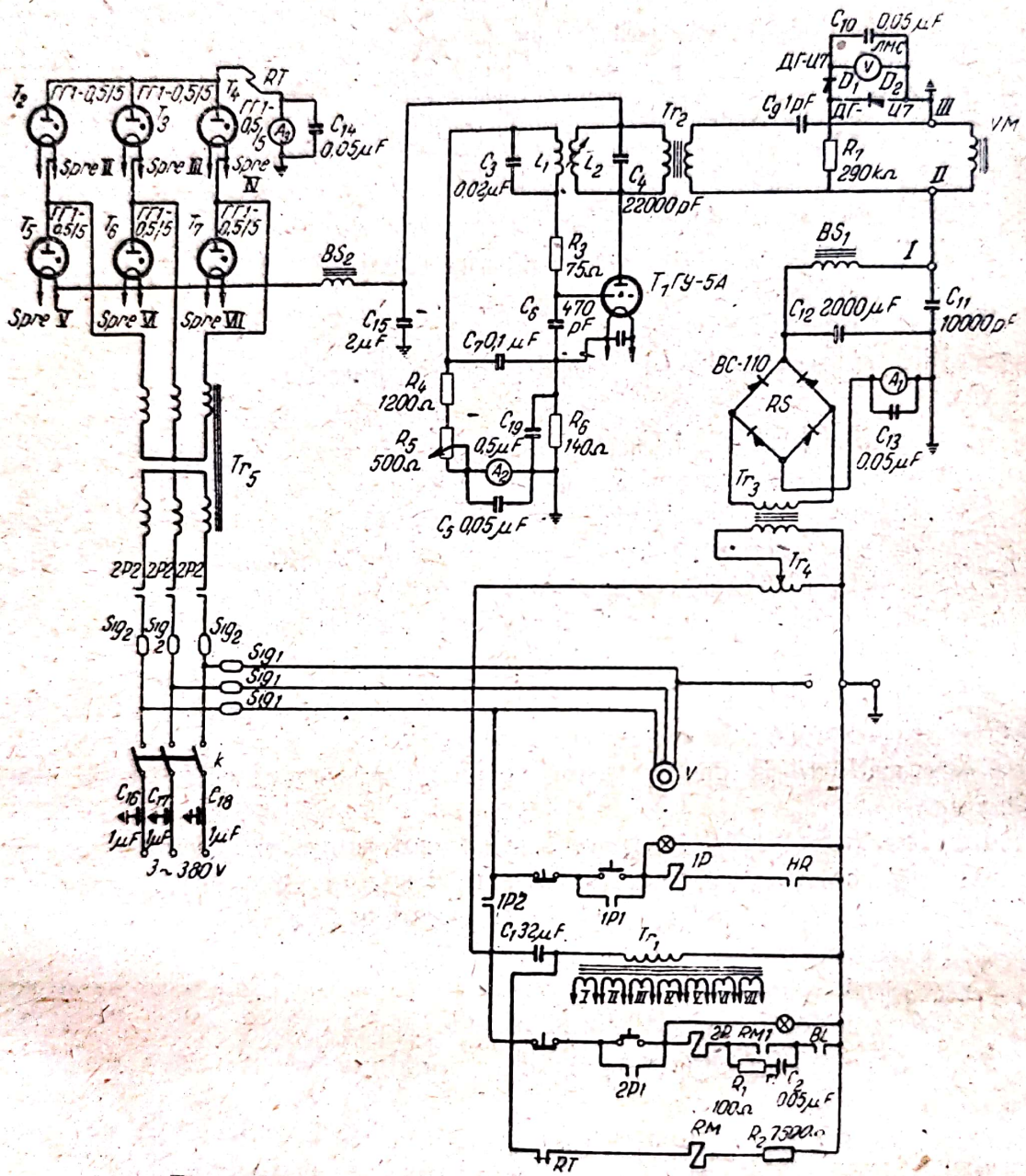


Fig. 4.4. Schema de principiu a generatorului УЗГ-2,5.

circuitul apei de răcire. Pentru protecţia tubului generator împotriva suprasarcinilor de curent a fost prevăzut releul *RT*, care deconectează tensiunea anodică în cazul unei suprasarcini de curent. În plus, cu ajutorul releului *RM* se elimină pericolul de aplicare a tensiunii anodice dacă tensiunea reţelei de alimentare scade sub limitele de stabilizare ale transformatoarelor de filament (sub 180 V) şi tensiunea de filament devine mai mică decît valoarea admisibilă.

Aspectul exterior al generatorului de tip УЗГ-2,5 este arătat în fig. 4.5.

Regimurile electrice ale generatorului şi surselor de alimentare se controlează folosind aparate de măsurat.

Alimentarea circuitelor de filament este posibilă numai după conectarea instalaţiei de răcire cu apă şi după închiderea contactelor releului *HR*, din

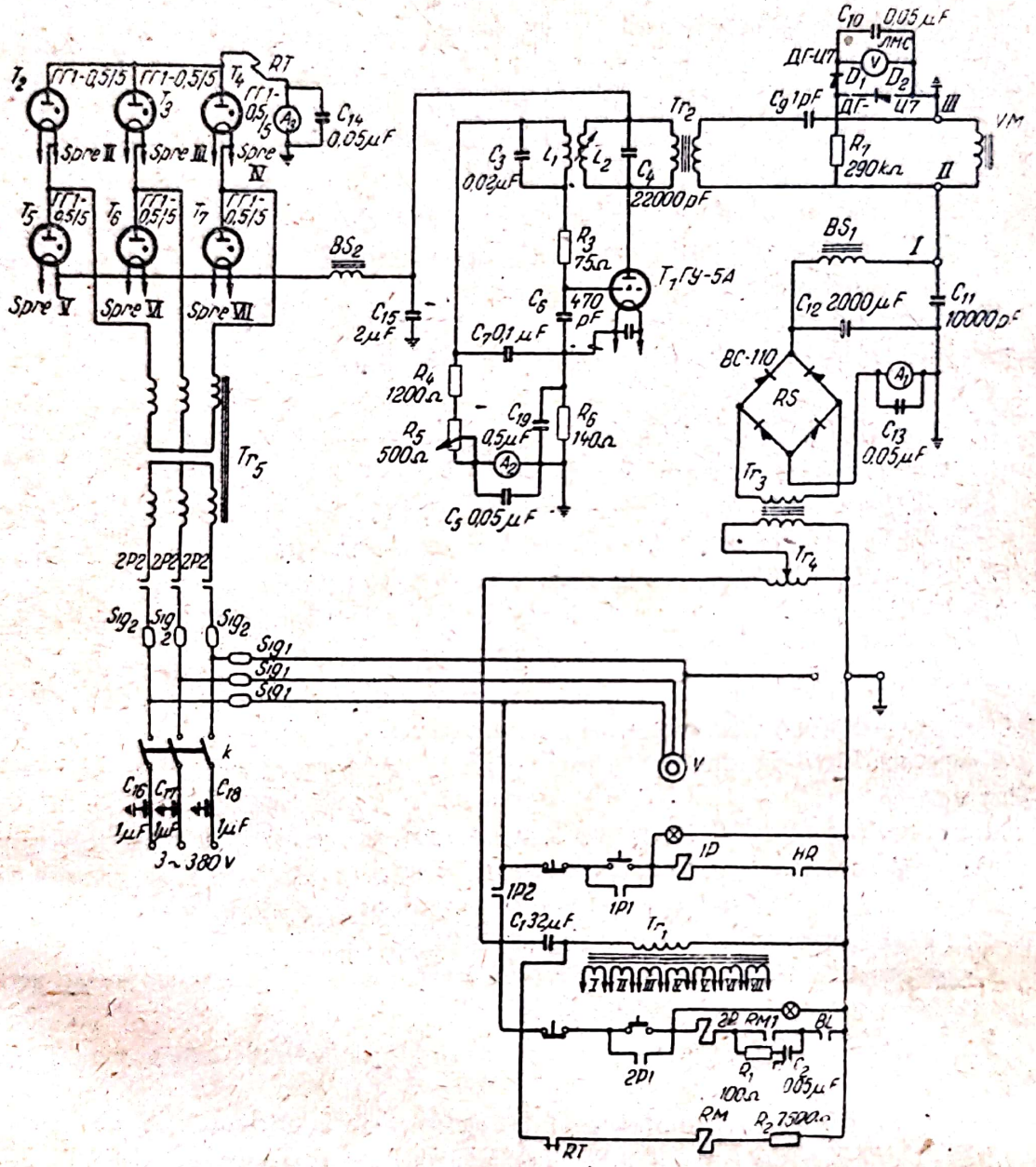


Fig. 4.4. Schema de principiu a generatorului УЗГ-2,5.

circuitul apei de răcire. Pentru protecţia tubului generator împotriva suprasarcinilor de curent a fost prevăzut releul *RT*, care deconectează tensiunea anodică în cazul unei suprasarcini de curent. În plus, cu ajutorul releului *RM* se elimină pericolul de aplicare a tensiunii anodice dacă tensiunea reţelei de alimentare scade sub limitele de stabilizare ale transformatoarelor de filament (sub 180 V) şi tensiunea de filament devine mai mică decît valoarea admisibilă.

Aspectul exterior al generatorului de tip УЗГ-2,5 este arătat în fig. 4.5.

Scanned with OKEN Scanner

Cînd generatorul funcţionează cu un singur vibrator magnetostrictiv de tip ПМС, curentul de premagnetizare este egal cu 15—20 *A*.

Cînd se lucrează cu un singur vibrator, curentul anodic este de circa 1,0 *A*, iar curentul de grilă este de 200 mA.

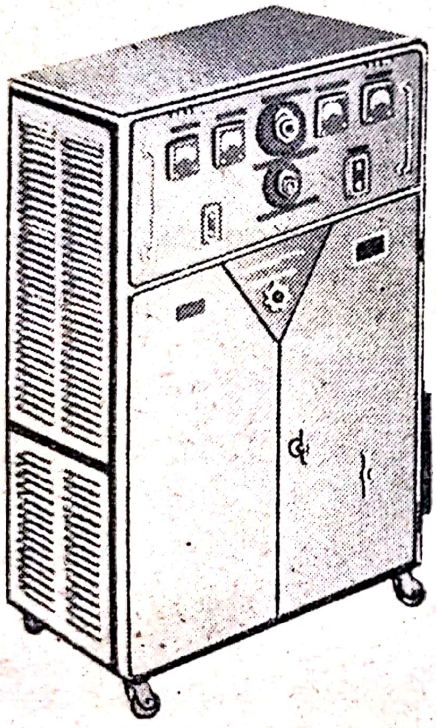


Fig. 4.5. Aspectul exterior al generatorului УЗГ-2,5.

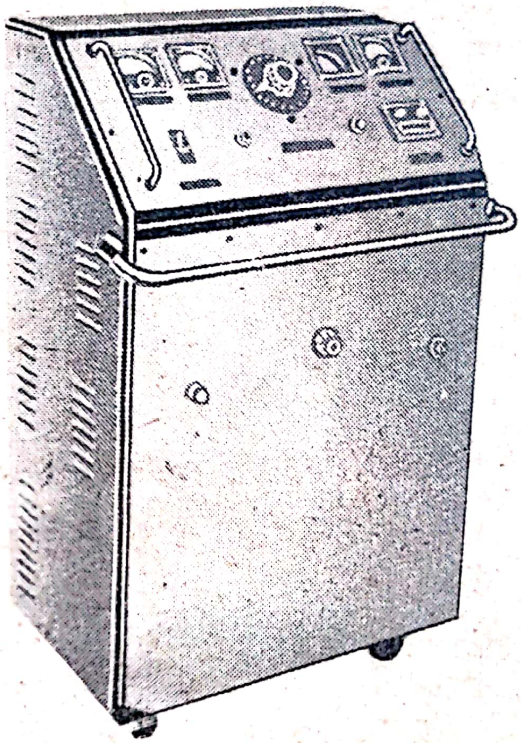


Fig. 4.6. Aspectul exterior al generatorului УЗГ-1.

Reglarea generatorului în vederea obţinerii regimului optim de funcţionare se face conform unei metodici analoge cu cea descrisă mai sus pentru generatorul УЗГ-10.

Generatorul УЗГ-1 (fig. 4.6) se deosebeşte de generatoarele УЗГ-10 şi УЗГ-2,5 în special prin existenţa unui oscilator pilot separat (montaj cu excitaţie independentă.)

b) Generatoare de tip УЗМ şi УМ.

Generatoarele de tip УЗМ (fig. 4.7, *a*) şi *УМ* sînt destinate să funcţioneze cu vibratoare magnetostrictive într-o gamă îngustă de frecvenţe ultrasonore joase.

Principalele caracteristici tehnice ale instalaţiilor de tipurile УЗМ şi УМ, sînt date în tabela 4.2.

Toate instalaţiile sînt calculate pentru o gamă de frecvenţe de 15—30 kHz, în conformitate cu frecvenţele de lucru ale vibratoarelor magnetostrictive fabricate de industrie.

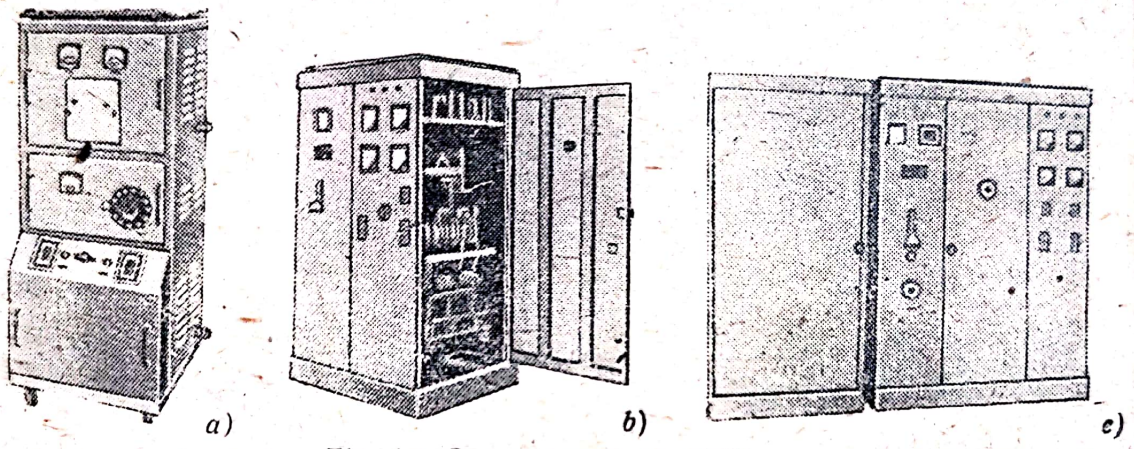
TABELA 4.2

Parametrii	УМ1-0,1	УЗМ-0,2	УМ1-0,4	УЗМ-1,5	УЗМ-1,5ц	УМ1-4	УЗМ-10	(УМ1-40) УЗМ-30	УМ1-60
Puterea de ieșire nominală, kW	0,1	0,2	0,4	1,5	1,5	4	10	40	60
Tensiunea rețelei de alimentare, V	220	220	220	220/380	220/380	220/380	220/380	220 sau 380	220 sau 380
Numărul de faze ale rețelei de alimentare	1	1	1	3	3	3	3	3	3
Puterea maximă absorbită de la rețea									
— Trifazată, kVA	—	—	—	2,5	2,5	8	14	50	100
— Monofazată, kVA	0,4	—	1,0	1,0	1,0	1,0	1,5	5	5
Puterea transformatorului anodic, kVA	0,3	—	0,9	2,5	2,5	8	11	50	100
Tensiunea anodică redresată, kV	0,8	—	1,5	3,0	3,0	3,7	5	8	10
Tipul tuburilor generatoare	ГУ—50	ГУ—50	ГК—71	ГУ - 81	ГУ—81	ГУ—5А	ГУ—5А	ГУ—22А	ГУ—22А
Numărul de tuburi generatoare	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Excitația	Independentă	—	Independentă	Independentă	Autoexcitație	Autoexcitație	Autoexcitație	Autoexcitație	Autoxcitație
Frecvența de lucru (calculată), kHz	16—24	15—30	18—30	18—30	18—30	16—24	18—30	18—30	18—30
Tensiunea de ieșire, V	20	—	80	250	250	500	500	500	500
Curentul de premagnetizare (maxim), A	3	9	10	10	10	20	30	130	200
Tensiunea de premagnetizare (maximă) V	15	—	5	5	5	10	10	10	10
Răcirea tuburilor generatoare	Naturală, cu aer	—	Naturală, cu aer	Forțată, cu aer	Forțată, cu aer	Forțată, cu apă și aer	Forțată, cu apă și aer	Forțată, cu apă și aer	Forțată, cu apă și aer
Debitul de apă de răcire, l/min ,	—	—	—	—	—	8	4	5	5
Dimesiunile de gabarit, mm									
În plan	310×340	425×240×280	470×420	600×660	600×660	920×630	1 180×1 145	1 500×2 550	1 500×2 590
Înălțimea	220	—	560	1 450	1 450	1 660	2 000	2 250	2 250
Greutatea instalației, kg	25	30	75	275	275	350	850	2 200	2 600

Scanned with OKEN Scanner

Generatorul de ultrasunete УЗМ-*10*. Schema de principiu a acestui generator este reprezentată în fig. 4.8. Alimentarea vibratoarelor cu curent de înaltă frecvență se face prin intermediul transformatorului de ieşire Tr_4, conectat între anozii tuburilor.

Curentul de premagnetizare se aplică vibratoarelor de la un transformator special Tr_6 şi de la un redresor în punte realizat din plăci de seleniu ABC-100. Autotransformatorul AT_2, conectat în circuitul primar al transformatorului de polarizare Tr_6, permite să se varieze fin curentul de premagneti-



a) *b*) *c*)

Fig. 4.7. Generatoare de tip УЗМ.
a — УЗМ-1,5; *b* — УЗМ-10; *c* — УЗМ-30.

zare al vibratoarelor. Condensatorul C_6 şi bobina de şoc BS_2 asigură separarea circuitelor de curent continuu şi de înaltă frecvență. Supravegherea regimului de funcționare al vibratoarelor se face cu ajutorul unui voltmetru care măsoară tensiunea de ieşire şi al unui ampermetru care măsoară curentul de premagnetizare. Reglarea puterii se face prin variația curentului de premagnetizare. Acordul fin al frecvenței se realizează automat.

Din punct de vedere constructiv, generatorul УЗМ-10 se prezintă sub forma unui dulap pe a cărui parte frontală sînt amplasate aparatele de măsurat.

Generatorul УЗМ-*15*. Generatorul de ultrasunete УЗМ-1,5 se compune din trei blocuri: blocul generator, blocul de premagnetizare şi blocul de alimentare. Blocul generator este format din trei etaje: oscilatorul-pilot, preamplificatorul şi etajul de ieşire (amplificatorul de putere). Schema de principiu a generatorului УЗМ-1,5 este reprezentată în fig. 4.9.

Frecvența oscilațiilor excitate este determinată de elementele circuitului de reacție pozitivă R_1, R_6, C_1 şi C_3 şi este reglată prin variația fină a rezistențelor R_2 şi R_4, ale căror axuri sînt cuplate mecanic. Bobinajul secundar al tranformatorului de ieşire Tr_3 are prize pentru a face mai comodă adaptarea etajului final cu diferitele vibratoare magnetostrictive.

Din punct de vedere constructiv, generatorul УЗМ-1,5 se prezintă sub forma unui dulap cu trei despărțituri, în care se montează trei blocuri separate: blocul generator, blocul de alimentare şi blocul de premagnetizare. Pentru răcirea instalației s-a prevăzut un ventilator.

Folosind blocuri generatoare de tipul celor existente în instalația УЗМ-1,5, respectiv cîte două, trei şi patru blocuri generatoare, conectate în paralel, se

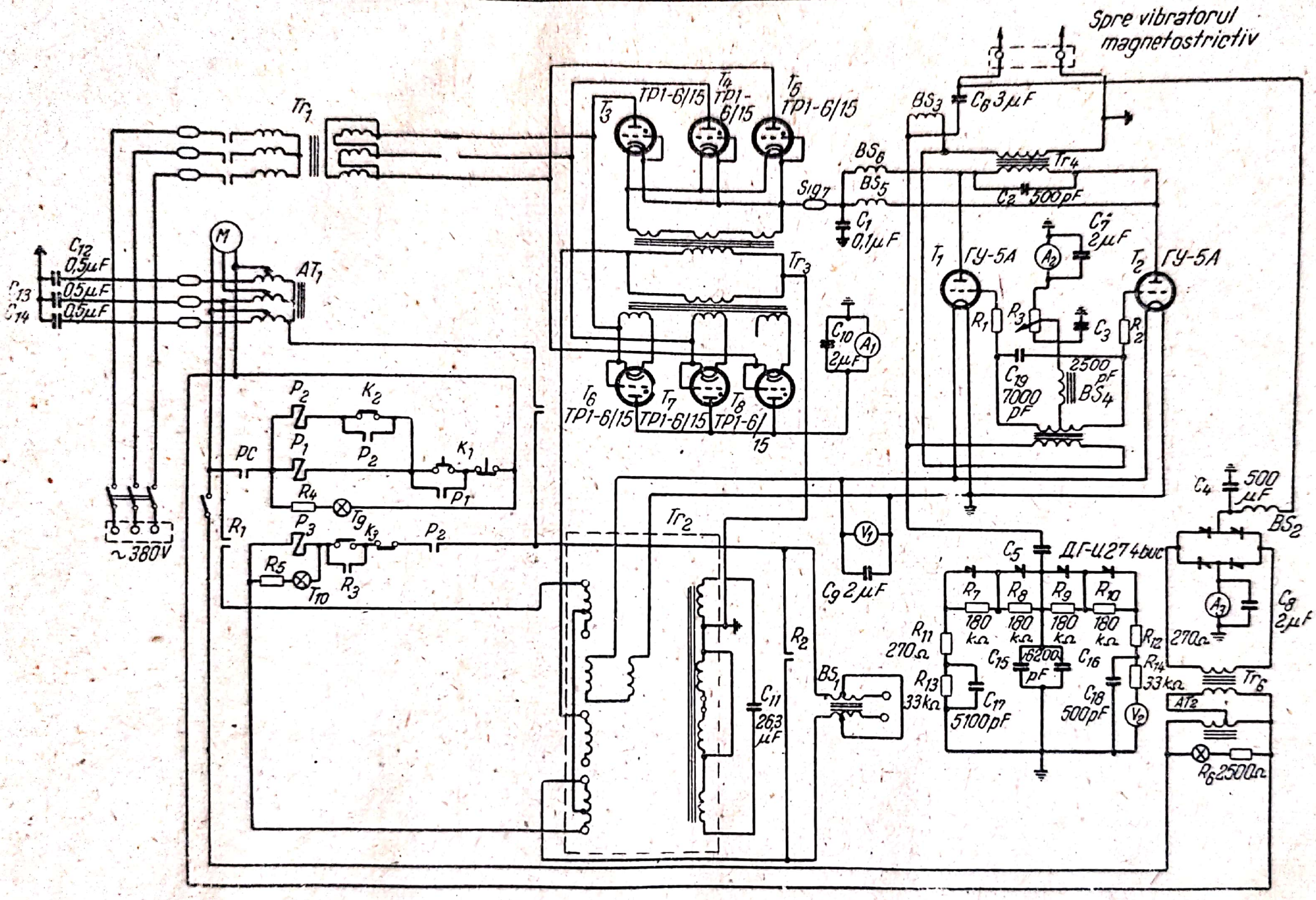


Fig. 4.8. Schema de principiu a generatorului УЗМ-30.

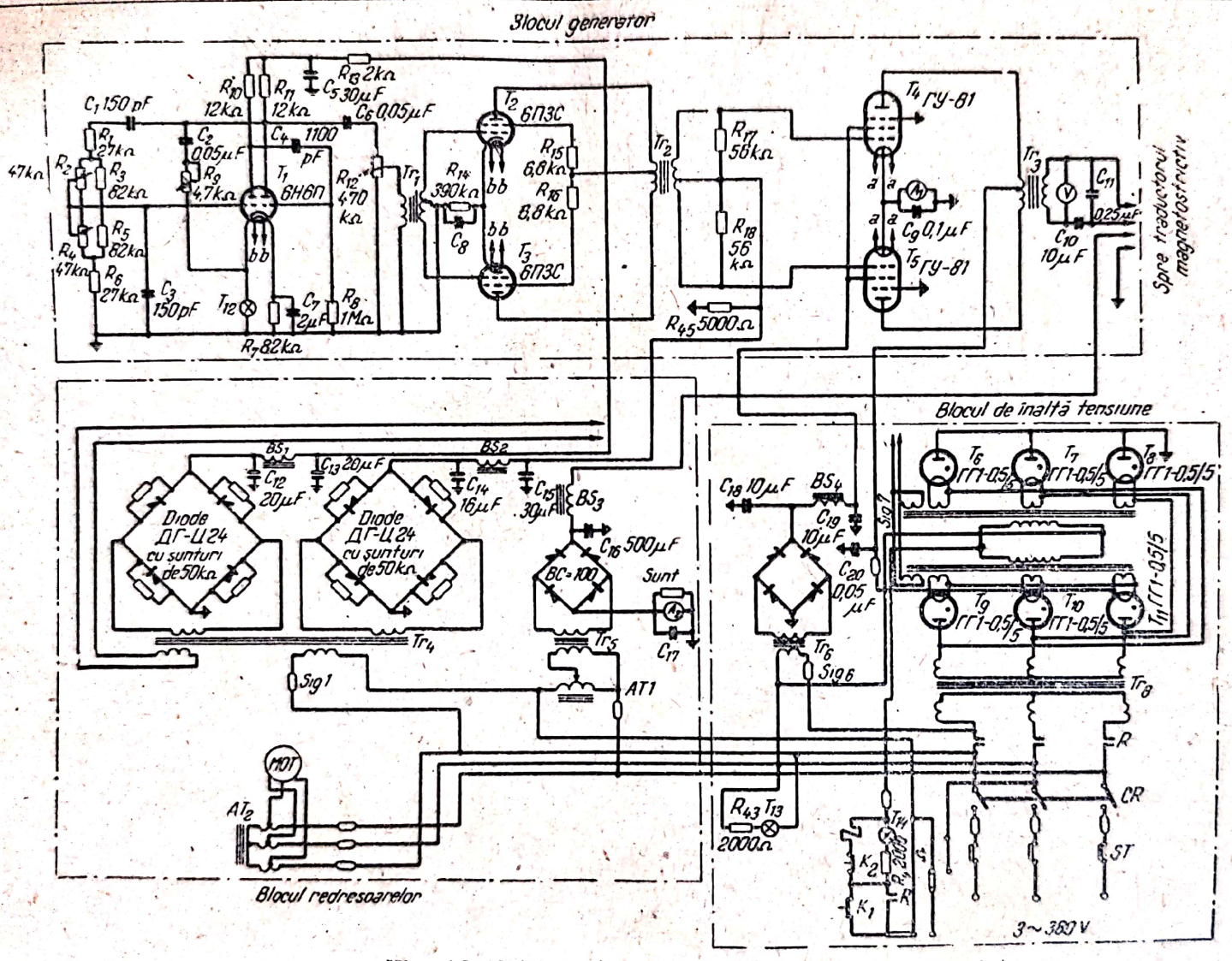


Fig. 4.9. Schema de principiu a generatorului УЗМ 1.5

pot obține instalații de tipurile УЗМ-3; УЗМ-4,5 și УЗМ-6. Schemele acestor instalații sînt analoge cu cea reprezentată în fig. 4.8. Prin urmare, instalațiile УЗМ-3, УЗМ-4,5 și УЗМ-6 au două, trei și patru ieșiri independente conectate la vibratoare magnetostrictive separate. Circuitele de premagnetizare ale vibratoarelor magnetostrictive sînt legate în serie. Blocurile generatoare constituie

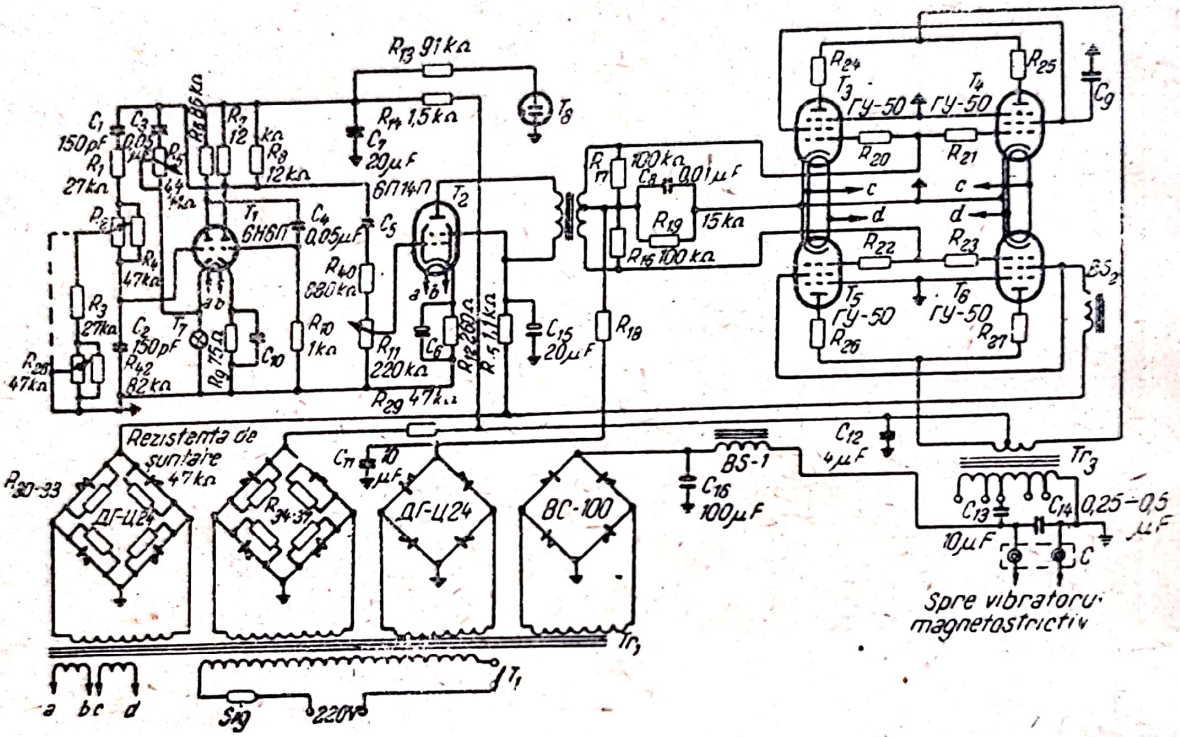


Fig. 4.10. Schema de principiu a generatorului УЗМ-0,2.

subansambluri independente demontabile. Restul aparatajului se montează direct în dulap.

Realizarea constructivă sub formă de blocuri a generatoarelor descrise oferă posibilitatea acordării fine a fiecărui vibrator magnetostrictiv în cazul cînd există oarecare deosebiri în ce privește parametrii vibratoarelor.

Generatorul de ultrasunete УЗМ-0,2 (fig. 4.10) se compune din trei etaje: oscilatorul-pilot, etajul de preamplificare și etajul final (amplificator de putere). În plus, montajul cuprinde un redresor de premagnetizare a vibratorului magnetostrictiv și surse de alimentare.

Reglarea frecvenței se face prin variația rezistențelor ramurilor unui cuadripol în L, cu ajutorul potențiometrului dublu R_2, R_{28}, al cărui ax este scos pe panoul frontal al generatorului.

Cuplajul cu vibratorul magnetostrictiv se realizează cu ajutorul transformatorului de ieșire Tr_3. Pentru o adaptare mai ușoară a sarcinii la regimul etajului final, transformatorul de ieșire este prevăzut cu un sistem de prize. Pentru premagnetizarea vibratorului magnetostrictiv se folosește o tensiune continuu de 10 V, obținută de la un redresor cu seleniu alimentat de la o înfășurare separată a transformatorului de rețea. Pentru a se putea varia curentul de premagnetizare, la această înfășurare s-au prevăzut prize pentru 8 și 6 V.

c) Generatoare de tip УГ

Generatoarele de tip УГ sînt produse în 5 variante; УГ-32; УГ-41, УГ-35, УГ-44, УГ-46. Caracteristicile principale ale acestor generatoare sînt date în tabela 4.3.

TABELA 4.3

Caracteristici tehnice principale	Tipul generatorului				
	УГ-32	УГ-41	УГ-35	УГ-44	УГ-46
Puterea absorbită, kW	0,8	0,3	1,7	3,5	8,1
Puterea de ieșire, kW	0,1—0,2	0,03	0,5	1,5	3
Frecvența de lucru, kHz	0,3 18—24	23—26	20—25	20—25	20—25
Tensiunea rețelei de alimentare, V	220	220	220	220/380	220/380
Dimensiunile de gabarit, mm	450×305×280	260×195×230	418×384×537	710×470×1 100	130×970×560

Toate generatoarele УГ conțin într-o carcasă comună, blocurile de premagnetizare cu redresoare de seleniu. Generatoarele УГ-35, УГ-44 și УГ-46 sînt prevăzute cu un dispozitiv pentru reglarea de la distanță a frecvenței, construit sub forma unui bloc separat care se conectează la generator printr-un cablu special. Mai jos se dă ca exemplu descrierea generatorului УГ-32, a cărui schemă este tipică pentru seria de generatoare considerată.

Generatorul УГ-32. Schema de principiu a generatorului УГ-32 este reprezentată în fig. 4.11.

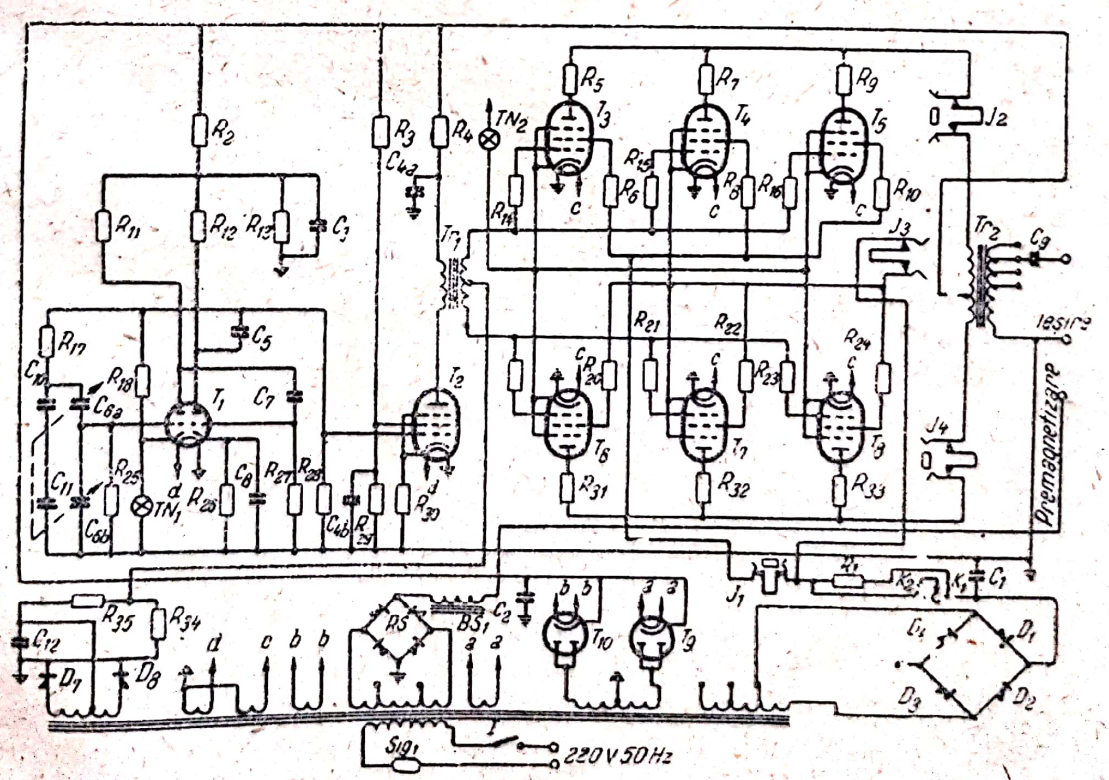


Fig. 4.11. Schema de principiu a generatorului УГ-32.

Etajul de excitație este un oscilator *RC*. Reglarea fină a frecvenței se realizează prin variația capacității blocului de condensatoare variabile. C_6; etajul prefinal (tubul T_2) este construit conform montajului cu cuplaj prin transformator.

Etajul final funcționează în contratimp și este realizat cu tuburi ГУ-50 (cîte trei tuburi în fiecare ramură).

Sarcina etajului final este constituită din bobinajul de excitație al vibratorului magnetostrictiv.

Pentru premagnetizarea vibratorului se folosește redresorul cu seleniu *RS*. Separarea între ele a surselor de curent continuu și de curent alternativ de frecvență ultrasonoră se face cu bobina de șoc BS_1 și condensatorul C_9. Puterea de ieșire a generatorului poate fi reglată în trepte între limitele 100—200—300 W, prin schimbarea numărului de tuburi ГУ-50 conectate în paralel în etajul final, precum și prin schimbarea numărului de kenotroane 5Ц3С.

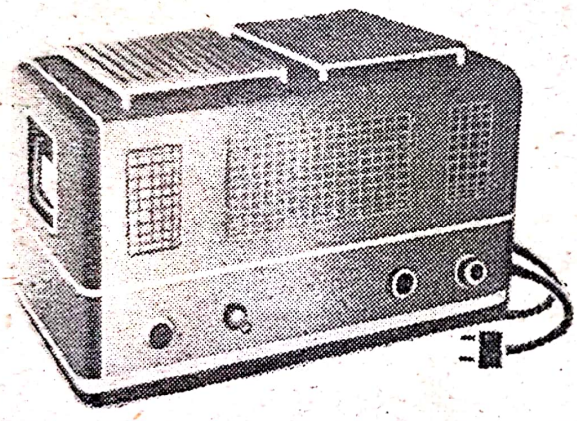


Fig. 4.12. Aspectul exterior al generatorului УГ-32.

Pentru adaptarea rezistenței de sarcină cu rezistența internă a etajului final al generatorului, la bobinajul secundar al transformatorului de ieșire Tr_2 au fost prevăzute prize.

Pentru controlul valorii totale a componentelor continue ale curenților anodici și de ecran (în fiecare jumătate a montajului în contratimp al etajului final), cu ajutorul unor fișe speciale se conectează niște miliampermetre de curent continuu.

Generatorul este montat pe un șasiu orizontal și este amplasat într-o carcasă metalică.

Aspectul exterior al generatorului este arătat în fig. 4.12.

d) **Generatorul** БАР

Generatorul БАР funcționează în gama de frecvențe cuprinsă între limitele 6—100 kHz, întreaga gamă fiind împărțită în 4 subgame: 6—14, 14—28, 28—53, 53—100 kHz.

Scara de reglare a frecvenței generatorului are în subgama I diviziuni egale cu 200 Hz, în subgama II diviziuni egale cu 500 Hz, în subgama III diviziuni egale cu 1 000 Hz, iar în subgama IV — diviziuni egale cu 2 000 Hz. Pentru o utilizare mai eficace a generatorului, ieșirea lui este calculată pentru diferite sarcini: 5, 10, 50, 100 și 1 000 Ω. Puterea de ieșire a generatorului (cînd sarcina este o rezistență adaptată) este de 800 W.

Scanned with OKEN Scanner

Scanned with OKEN Scanner

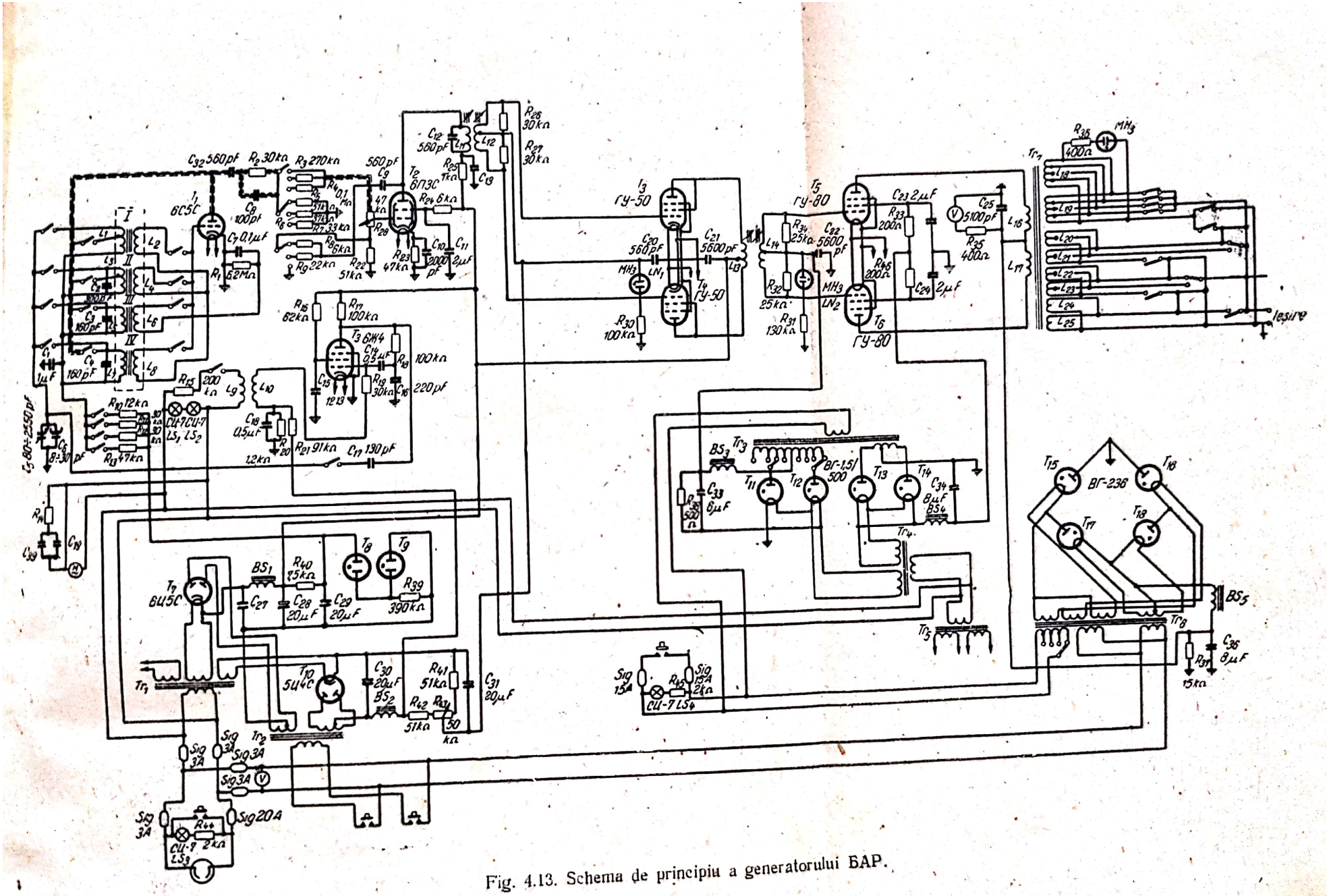
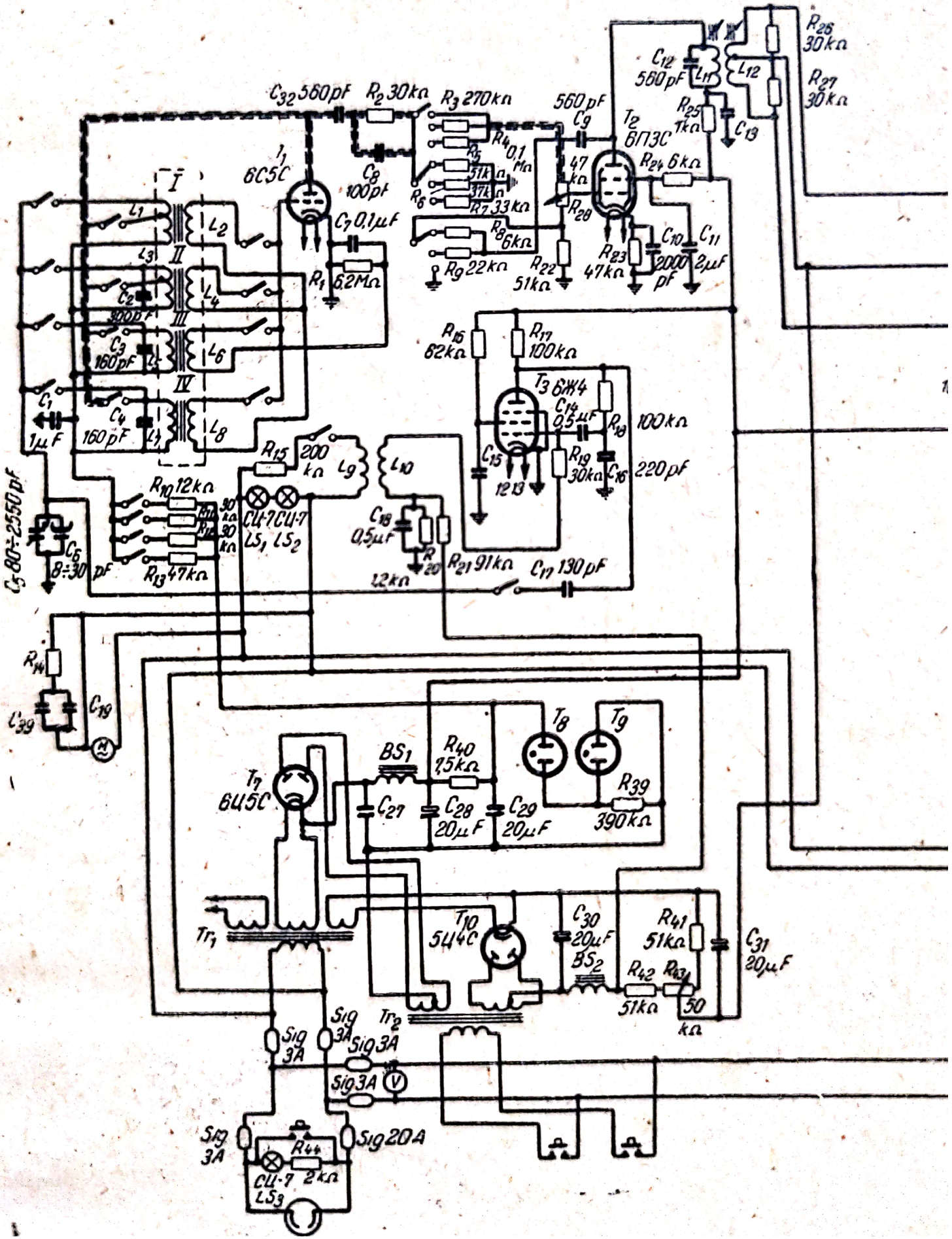
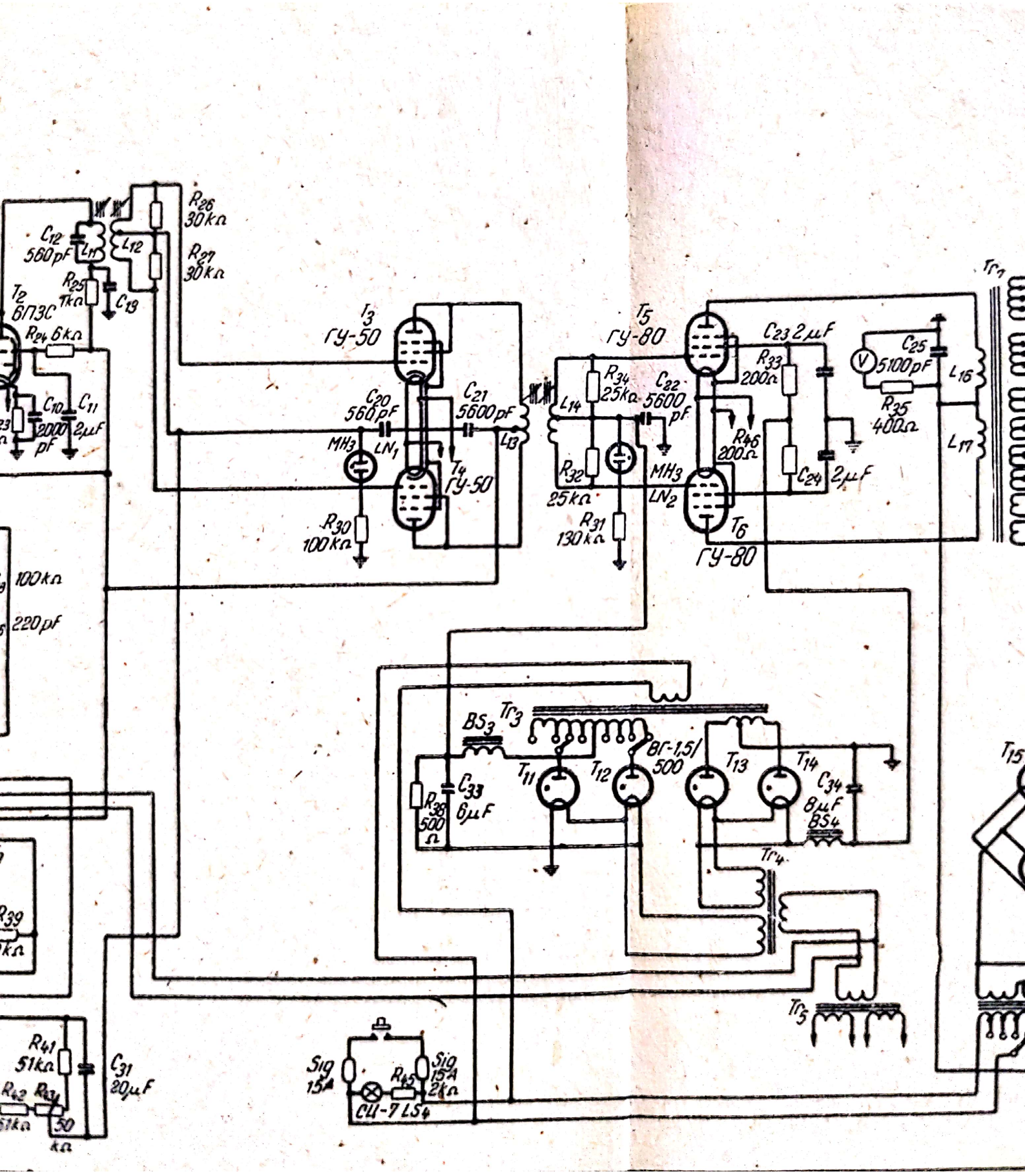
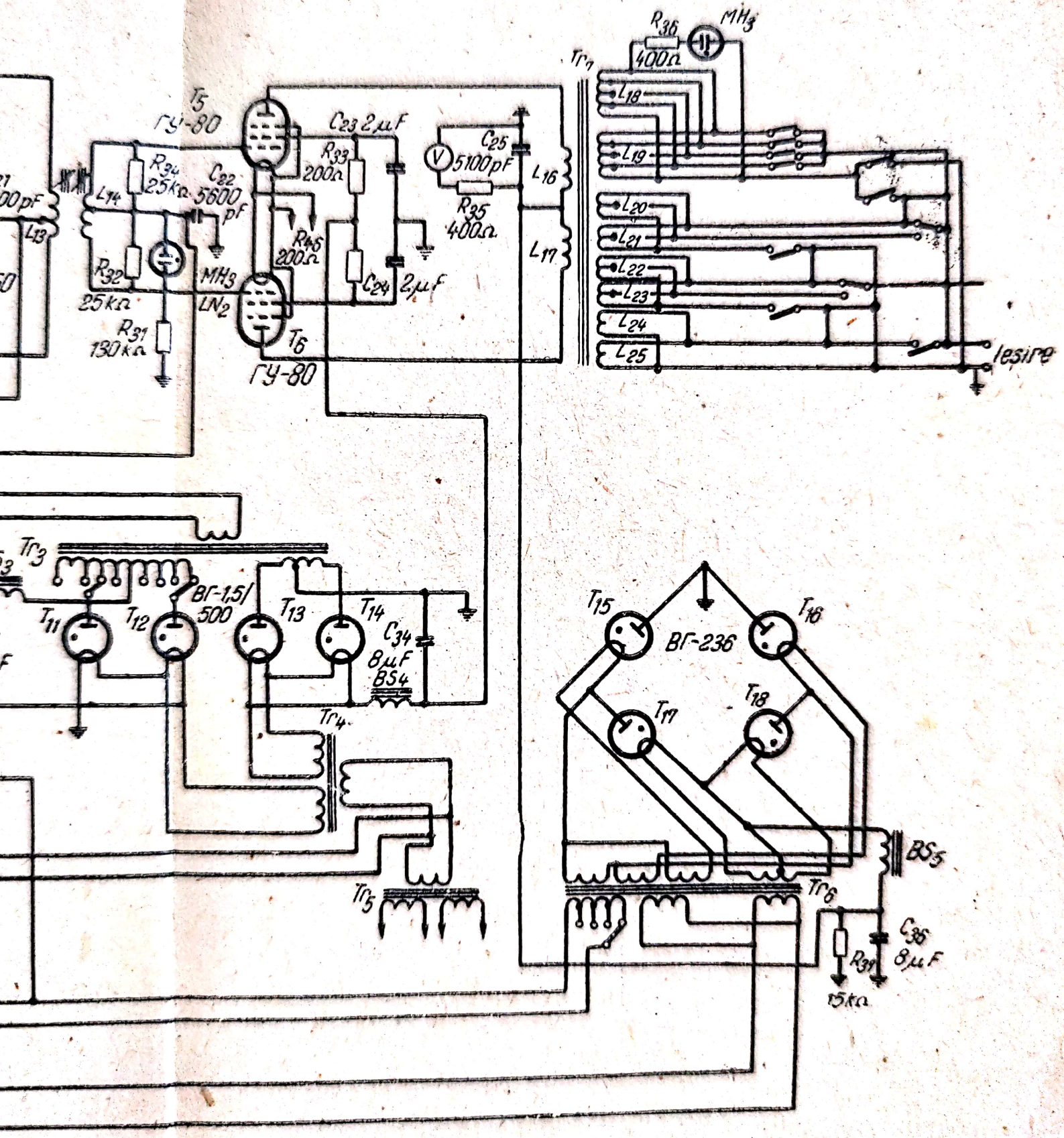


Fig. 4.13. Schema de principiu a generatorului БАР.



Scanned with OKEN Scanner


R26 30kΩ
R27 30kΩ
C12 560pF
L11
L12
R25 1kΩ
C13
T2 6П3С
R24 6kΩ
C10
C11 2000 pF
2μF
T3 ГУ-50
C20 560pF
C21 5600pF
L13
MH3
LN1
T4 ГУ-50
R30 100kΩ
T5 ГУ-80
R34 25kΩ
C22 5600 pF
L14
R32 25kΩ
MH3
LN2
R31 130kΩ
T6 ГУ-80
C23 2μF
R33 200Ω
R46 200Ω
C24 2μF
C25 5100pF
R35 400Ω
L16
L17
Tr1
100kΩ
220pF
BS3
Tr3
T11
T12
8Г-1,5/500
T13
T14
C33 6μF
R38 500Ω
C34 8μF
BS4
Tr4
T15
R39
kΩ
R41 51kΩ
C31 20μF
R42
R43
51kΩ
50 kΩ
Sig 15A
R45
Sig 15A 2kΩ
СЦ-7 LS4
Tr5


T5
ГУ-80
C23 2μF
R33 200Ω
C25
5100pF
R35 400Ω
R36 400Ω
MH3
Tr1
L16
L17
L18
L19
L20
L21
L22
L23
L24
L25
Iesire
R34 25kΩ
C22 5600 pF
L14
L13
R32 25kΩ
R31 130kΩ
MH3
LN2
R45 200Ω
C24 2μF
T6
ГУ-80
Tr3
T11
T12
BГ-1,5/500
T13
T14
C34 8μF
BS4
Tr4
Tr5
T15
BГ-236
T16
T17
T18
Tr6
BS5
C35 8μF
R39 15kΩ

În funcţie de valoarea sarcinii, la generator pot fi stabilite limite maxime ale puterii de ieşire, pentru fiecare limită existînd posibilitatea unei reglări fine de la zero pînă la valoarea maximă (0—50, 0—200, 0—800 W).

Generatorul este prevăzut cu un dispozitiv pentru modulaţie de frecvenţă. Frecvenţa de modulaţie este de 50 Hz.

Alimentarea generatorului БАР se face de la reţeaua de curent alternativ cu o tensiune de 220 V şi frecvenţa de 50 Hz. Puterea absorbită de generator de la reţeaua de alimentare este de circa 3 kW, atunci cînd el debitează puterea utilă maximă.

Schema de principiu a generatorului de tip БАР este reprezentată în fig. 413. În schema generatorului s-a prevăzut posibilitatea funcţionării cu modulaţie de frecvenţă cu 50 Hz, care se realizează cu ajutorul unui tub de reactanţă 6Ж4 (T_3), legat în paralel cu circuitul acordat al oscilatorului pilot.

Aspectul exterior al generatorului БАР este arătat în fig. 4.14.

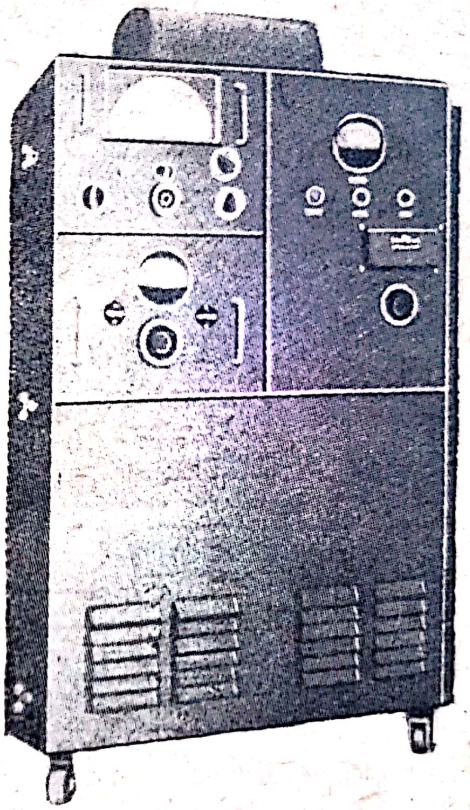


Fig. 4.14. Aspectul exterior al generatorului БАР.

4.3. Generator de ultrasunete de bandă largă

Generatorul de tip ГУ-3, a cărui schemă de principiu este dată î nfig. 4.15, are următoarele caracteristici principale:

Puterea de ieşire	200—600 W
Puterea absorbită	1,8 kW
Gama de frecvenţe	22—1 000 kHz.
Tensiunea de alimentare	220 V
Dimensiunile de gabarit ale dulapului generatorului	460×705×1 595 mm
Dimensiunile de gabarit ale pupitrului (dispozitivul în care se produc ultrasunete)	725×1 130×1 260 mm
Greutatea dulapului generatorului	220 kg
Greutatea pupitrului	200 kg

Circuitul sarcinii se compune dintr-un circuit primar, format din inductanţa L_1, capacitatea variabilă C_1 şi capacităţile fixe C_3—C_8, conectate în paralel cu C_1, şi un circuit secundar. În circuitul secundar este conectat condensatorul C_{17} şi vibratorul magnetostrictiv VM.

Bobinajului vibratorului magnetostrictiv i se aplică de la redresorul T_3, realizat cu un gazotron ВГ-176, o tensiune redresată care asigură curentul de premagnetizare necesar.

Pentru protejarea sursei de premagnetizare împotriva pătrunderii curentului alternativ din circuitul acordat, precum și pentru netezirea pulsațiilor curentului continuu de premagnetizare, a fost prevăzut un filtru în L.

Generatorul este înzestrat cu aparate care măsoară principalii parametri de funcționare ai montajului, precum și cu autotransformatoare de tip ЛАТР, cu ajutorul cărora se pot regla fin tensiunile de filament și anodice.

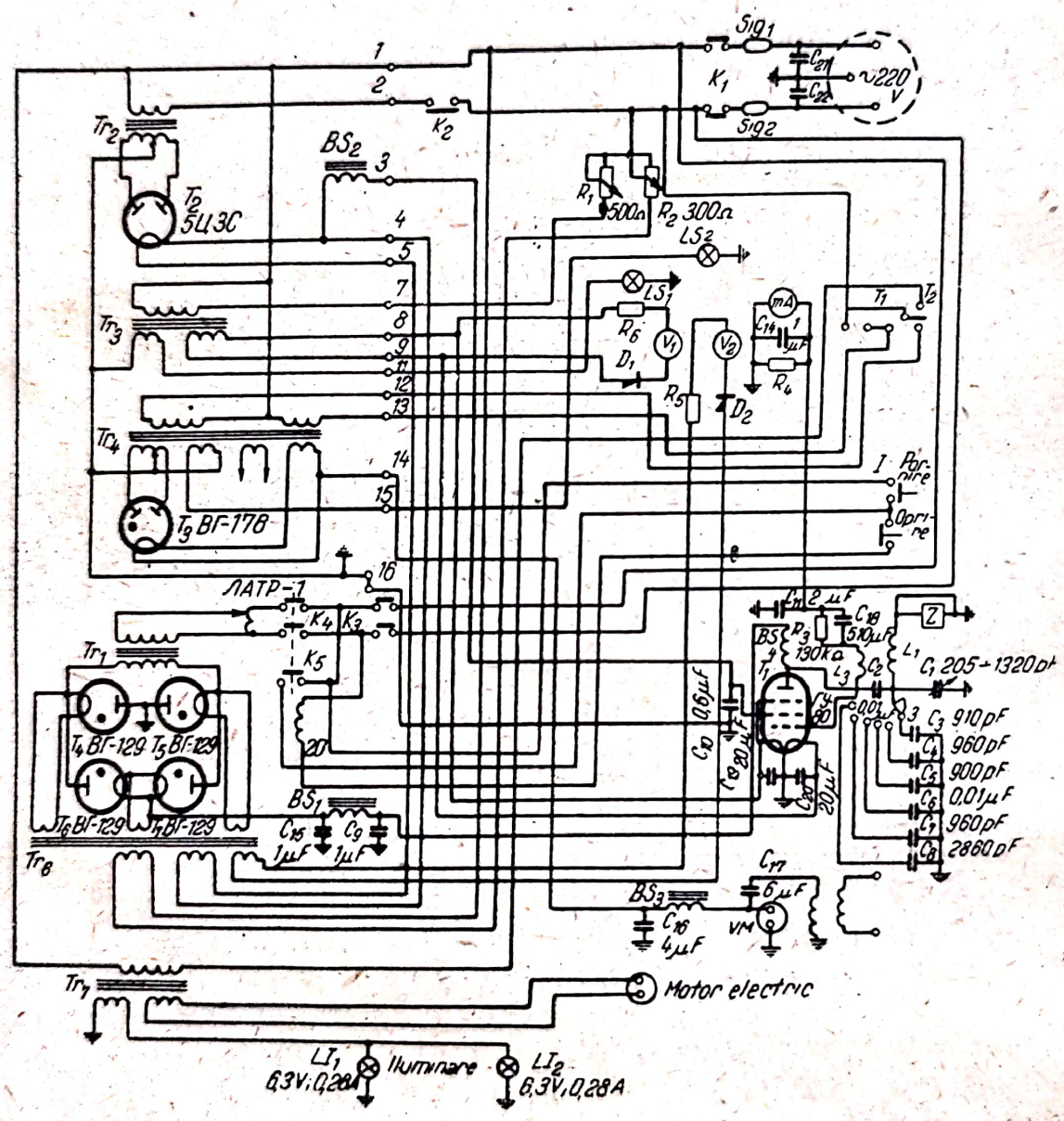


Fig. 4.15. Schema de principiu a generatorului ГУ-3.

Pentru obținerea unor vibrații ultrasonore cu frecvențele 300 și 1 000 kHz se folosesc vibratoare de cuarț. Pentru obținerea unor vibrații ultrasonore cu frecvența de 22 kHz se utilizează un vibrator magnetostrictiv de nichel, de tip НЭЛ-IV sau НЭЛ-V.

Din punct de vedere constructiv, generatorul ГУ-3 este construit sub forma a două părţi separate (fig. 4.16): dulapul generatorului şi pupitrul ГУ-3 П. În dulapul generatorului sînt montate principalele elemente ale montajului.

Din punct de vedere constructiv pupitrul este realizat sub forma unui cilindru vertical, fixat pe o bază turnată.

La partea superioară a rezervorului, deasupra vibratorului de cuarţ, se instalează un recipient pentru mediul supus prelucrării, recipient confecţionat dintr-un tub de sticlă specială cu fundul şlefuit şi acordat pe o anumită frecvenţă. Pentru obţinerea unei disipări bune a căldurii din pahar spre interiorul rezervorului, s-a prevăzut o serpentină răcită cu un curent de apă şi s-a instalat un motor electric cu agitator. În plus, în interiorul paharului este cufundată o serpentină răcită cu un amestec termostatat de alcool şi glicerină. Pe fundul rezervorului este montat un izolator în formă de ceaşcă, prevăzut cu un picioruş de contact în centru. Pe picioruş se găseşte locaşul pentru vibratorul de cuarţ iar partea de jos a picioruşului este legată, cu ajutorul unei ramificaţii tripolare, la o bornă a bobinei din circuitul oscilant şi la un voltmetru.

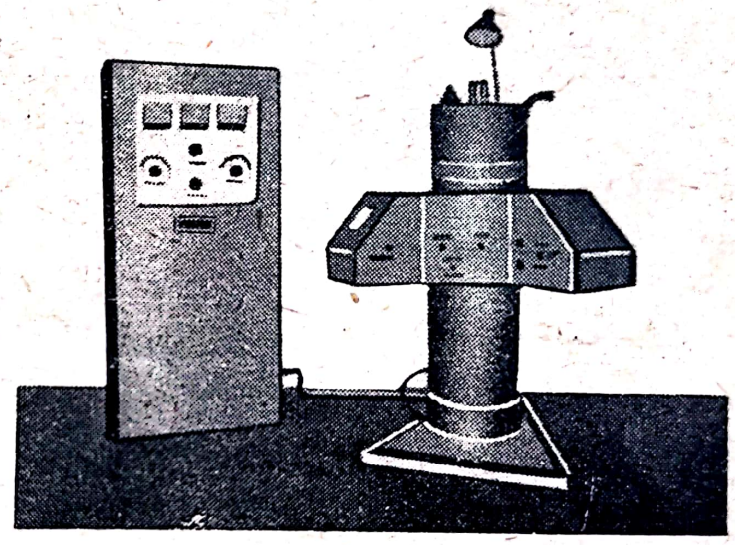


Fig. 4.16. Aspectul exterior al generatorului ГУ-3.

Vibratorul magnetostrictiv se fixează pe un suport special, care este cufundat în rezervor împreună cu serpentina de răcire.

Instalaţia frigorifică este calculată pentru absorbirea unei puteri termice pînă la 500 W; în acest caz, temperatura din pahar poate fi reglată după dorinţă, de la +10°C în sus. Răcirea rezervorului care conţine mediul de transmisie se face de la conducta de apă, printr-o serpentină.

Din componenţa generatorului mai fac parte, în afară de dulapul generatorului, pupitrul în care se produc ultrasunete şi instalaţia de răcire, şi trei pahare speciale pentru funcţionarea cu lichid şi vibratoare de cuarţ de schimb pentru frecvenţele de 300, 750 şi 1 000 kHz (cîte o bucată), un vibrator magnetostrictiv НЭЛ-IV şi un complet de bobine de schimb pentru frecvenţele 21,5; 300; 750 şi 1 000 kHz. Variaţia frecvenţei de lucru se face prin schimbarea vibratorului şi a bobinei corespunzătoare din circuitul acordat. Reglarea fină a frecvenţei se efectuează cu ajutorul unui condensator variabil.

Scanned with OKEN Scanner

4.4. GENERATOARE DE ULTRASUNETE DE ÎNALTĂ FRECVENȚĂ

Generatorul УВГ-3 se folosește pentru funcționarea cu vibratoare piezoelectrice în gama de frecvențe 0,3—6 MHz.

Caracteristicile principale ale generatorului sînt:

Puterea de ieșire	pînă la 2 kW
Puterea absorbită	pînă la 5 kW
Gama frecvențelor de lucru	0,3—6 MHz
Alimentarea de la o rețea monofazată de curent alternativ cu tensiunea	220 V
Dimensiunile de gabarit	1 520×400×850 mm

După cum reiese din schema de principiu (fig. 4.17), generatorul este realizat cu un tub ГК—3 000 (răcit cu aer) și funcționează conform montajului cu autoexcitație.

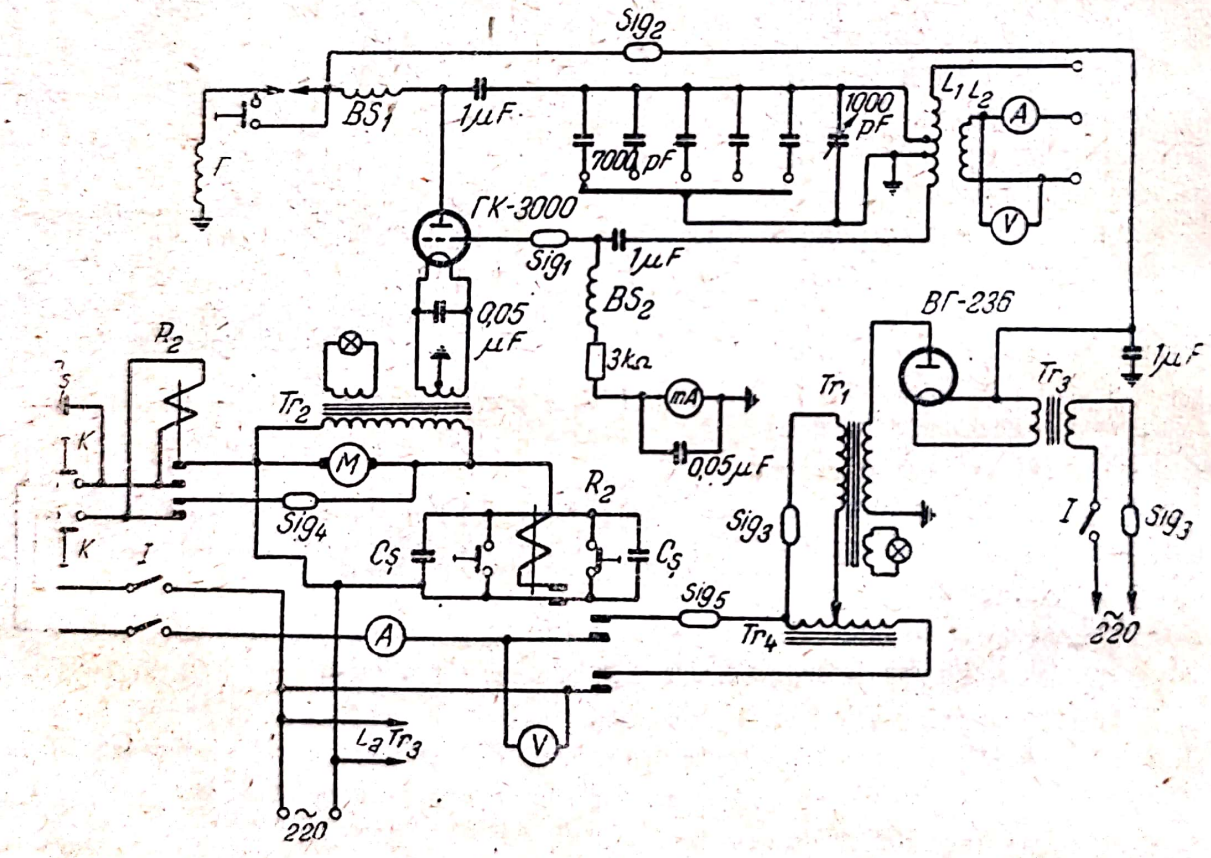


Fig. 4.17. Schema de principiu a generatorului УВГ-3.

În schemă s-a prevăzut posibilitatea conectării vibratoarelor de cuarț direct la bobinele circuitului acordat, unde apare o tensiune înaltă suficientă pentru excitarea vibratoarelor de cuarț. În cazul cînd se lucrează cu vibratoare pentru tensiuni joase, confecționate din titanat de bariu, este necesar ca conectarea lor să fie efectuată prin intermediul unui transformator coborîtor de tensiune, care face parte din componența generatorului. În plus, gene-

ratorul este prevăzut cu aparatele necesare de control şi măsurare, pentru verificarea curenţilor şi tensiunilor din circuitele principale. Conectarea şi deconectarea generatorului se realizează cu contactoare electromagnetice. Montajul conţine siguranţe şi un sistem de blocare, care întrerupe înalta tensiune atunci cînd se deschid uşile racului generatorului.

Întregul cablaj al generatorului este realizat într-un singur bloc (fig. 4.18).

Generatorul de înaltă frecvenţă УВГ-1,5. Schema generatorului УВГ-1,5 este arătată în fig. 4.19. Generatorul este calculat să funcţioneze cu vibratoare din titanat de bariu. Puterea lui de ieşire este egală cu 1,5 kW. Gama frecvenţelor de lucru este 200—1 000 kHz. Generatorul este realizat cu două tuburi ГУ-81, conform montajului cu autoexcitaţie.

Circuitul anodic este alimentat de un redresor de înaltă tensiune de 3 000 V. Pentru a se exclude posibilitatea scurtcircuitării circuitului de înaltă frecvenţă, de către blocul de alimentare, în circuitele anodice ale tuburilor au fost conectate bobine de şoc de înaltă frecvenţă (BS_1, BS_2).

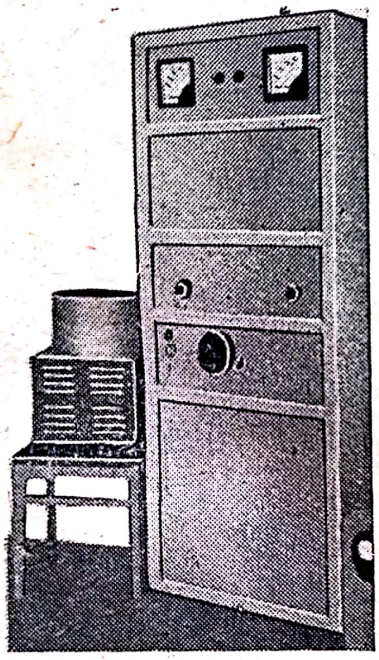


Fig. 4.18. Aspectul exterior al generatorului УВГ-3.

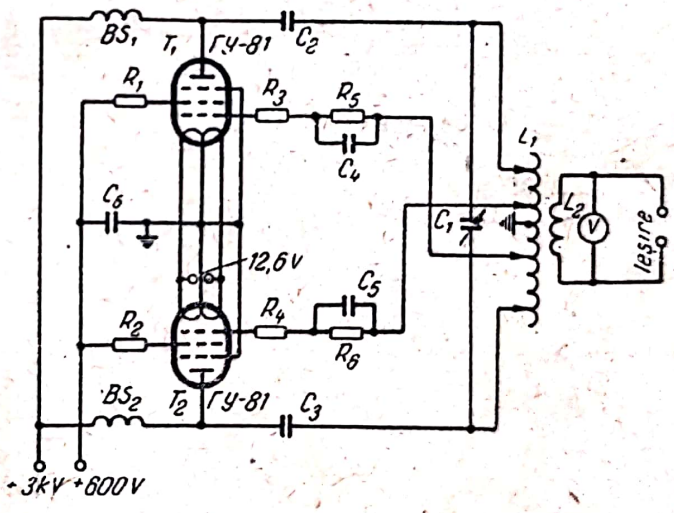


Fig. 4.19. Schema de principiu a generatorului УВГ-1,5.

Anozii tuburilor sînt conectaţi la circuitul acordat prin intermediul unor condensatoare separatoare (C_2, C_3). Negativarea se realizează cu ajutorul grupurilor de negativare R_5C_4, R_6C_5, conectate în circuitele de grilă.

Reglarea fină a circuitului acordat se face cu condensatorul variabil C_1, iar schimbarea gamei se realizează prin schimbarea bobinelor circuitelor. Cuplajul dintre vibratorul de titanat de bariu şi circuitul oscilant se realizează cu ajutorul bobinei de cuplaj L_2, înfăşurată pe aceeaşi carcasă cu bobina din circuitul oscilant.

Un voltmetru de rezistenţă internă mare, conectat în paralel cu vibratorul de titanat de bariu, permite controlul tensiunii de la bornele vibratorului.

Adaptorul УПТБ. Acest adaptor face posibilă funcţionarea generatoarelor de ultrasunete УЗГ-10, cu vibratoare din titanat de bariu. Adaptorul, a cărui

schemă este arătată în fig. 4.20, este construit sub forma unui bloc separat, în care se găseşte circuitul oscilant format din inductanţa L_1 cu bobina interioară de adaptare L_2, condensatorul de acord C_1 şi comutatorul de înaltă frecvenţă K. Bobina din circuitul oscilant este realizată din bandă de cupru de 8×2 mm, pe o carcasă din sticlă organică, şi are 34 spire. În interiorul acestei carcase se găseşte bobina de adaptare, care are 10 spire din bandă de cupru. Cu ajutorul unui dispozitiv cu şurub fără fine, bobina se poate deplasa în interiorul bobinei circuitului oscilant.

Condensatorul de acord are dielectric aerul, iar capacitatea lui variază de la 100 pînă la 1 000 pF. El serveşte la acordul fin al circuitului oscilant pe frecvenţa proprie a vibratorului din titanat de bariu. Acordul brut al frecvenţei se face prin conectarea unui număr diferit de spire ale bobinei circuitului.

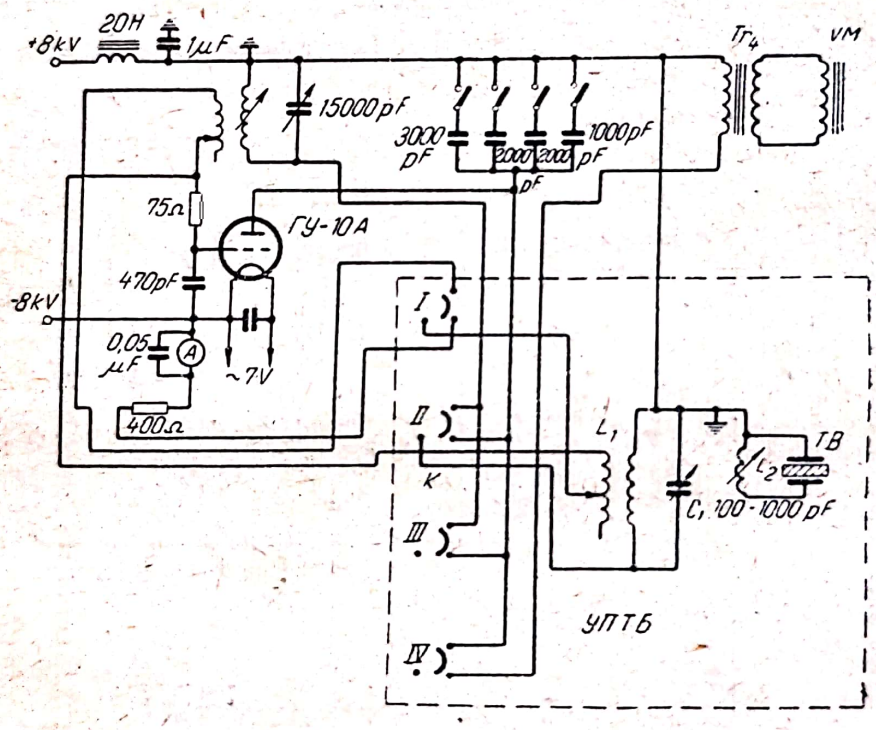


Fig. 4.20. Schema de principiu a adaptorului cu ultrasunete УПТБ.

Comutatorul de înaltă frecvenţă serveşte la trecerea generatorului de la regimul de funcţionare cu vibrator magnetostrictiv la regimul cu vibrator din titanat de bariu. Toate piesele componente ale adaptorului sînt montate pe panoul superior.

Adaptorul permite funcţionarea în gama de frecvenţe 100—1 000 kHz cu vibratoare de titanat de bariu avînd forme şi arii diferite. Puterea de ieşire obţinută de la acest adaptor (în cazul conectării la un generator УЗГ-10) este de 5—8 kW. Adaptorul are dimensiunile 600×750×450 mm şi este montat pe roţi.

4.5. INSTALAȚII GENERATOARE DE ULTRASUNETE REALIZATE PE BAZA UNOR GENERATOARE PENTRU ÎNCĂLZIRE PRIN INDUCȚIE ȘI A UNOR AMPLIFICATOARE DE RADIOFICARE

a) Instalații de ultrasunete pe bază de generatoare pentru încălzire prin inducție

Adaptorul УЗП-*10 pentru instalațiile de înaltă frecvență* ЛГЗ *și* ЛГЕ este un bloc separat, în care sînt montate capacitățile și inductanța variabilă a circuitului acordat, care se conectează la generatorul cu tuburi electronice al instalației pentru încălzire prin inducție. În blocul УЗП-10 au fost folosite elementele de montaj și construcția diverselor subansambluri ale generatorului УЗГ-10, descris mai sus.

Datele tehnice principale ale adaptorului УЗП-10 sînt:

Puterea de ieșire	8 kW
Limitele de reglare a frecvenței	18—25 kHz
Dimensiunile de gabarit	653 × 480 × 950 mm.

În fig. 4.21 este reprezentată schema de principiu a adaptorului pentru ultrasunete УЗП-10 (în dreapta) și este arătată conectarea lui la generatorul de înaltă frecvență (în stînga).

Aspectul exterior al adaptorului pentru ultrasunete УЗП-10 este arătat în fig. 4.22.

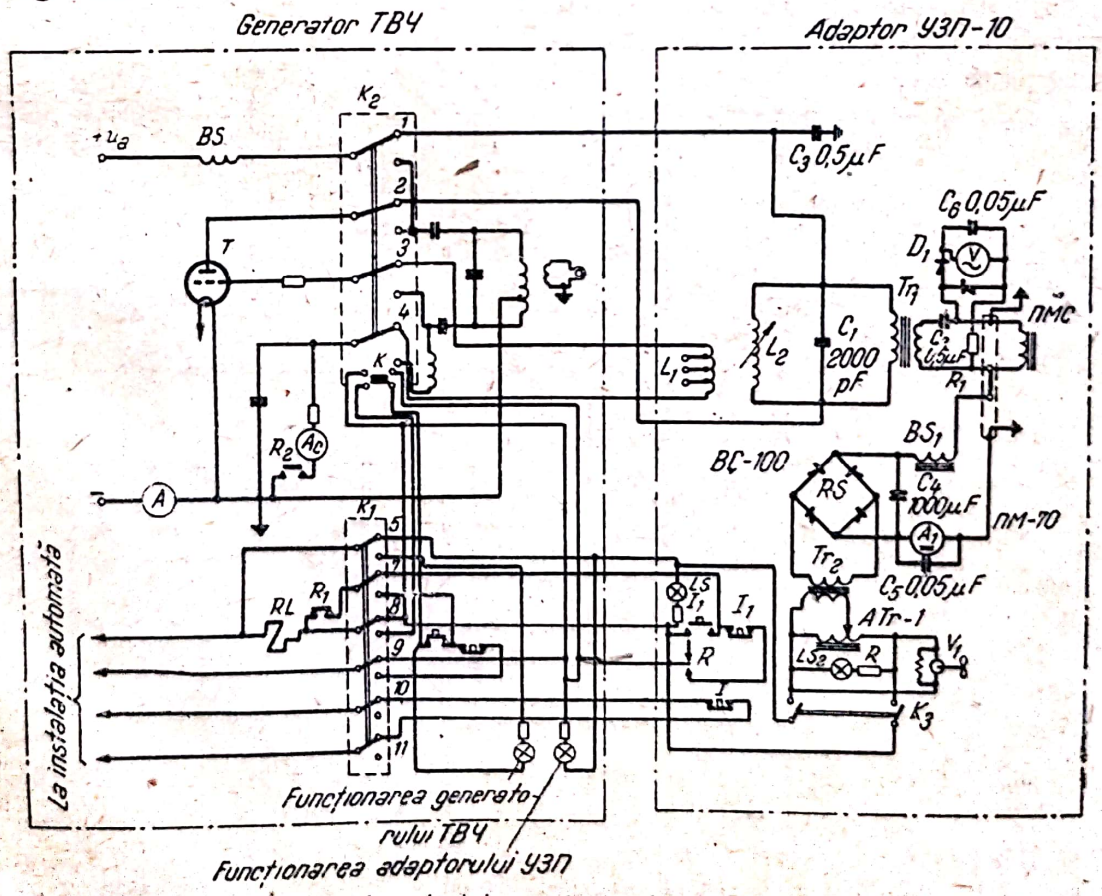


Fig. 4.21. Schema de principiu a adaptorului cu ultrasunete УЗЛ-10.

Modificarea generatorului de înaltă frecvenţă tip ЛГЕ-3Б pentru funcţionarea cu vibratoare ultrasonore pe 20 şi 1 000 kHz. Generatorul de înaltă frecvenţă ЛГЕ-3Б avînd puterea de 3 kW şi frecvenţa de 25 MHz este destinat încălzirii materialelor dielectrice prin înaltă frecvenţă.

În fig. 23, *a* este arătată acea parte din schemă care a fost supusă modificării. Parametrii schemei pentru funcţionarea la frecvenţa de 20 kHz cu vibratoare magnetostrictive şi la frecvenţa de 1 000 kHz cu vibratoare piezoelectrice sînt arătaţi în fig. 4.23, *b* şi 4.23, *c*.

Pentru alimentarea vibratorului de cuarţ cu frecvenţa de 1 MHz se fac următoarele modificări. Se măreşte capacitatea condensatoarelor separatoare de grilă şi anodic şi inductanţa bobinelor de şoc de grilă şi anodică. Se elimină bobina de şoc L_2 şi bobina L_5. În locul acestora se introduce o nouă bobină pentru circuitul acordat, cu conexiunile corespunzătoare.

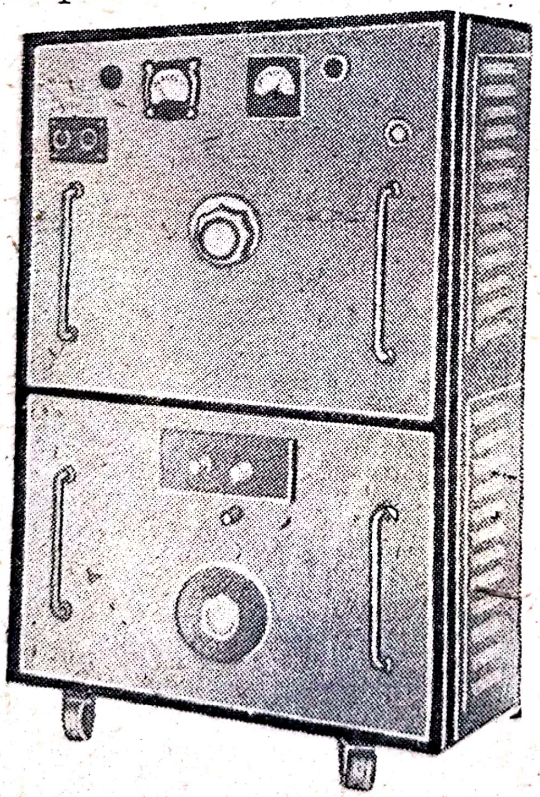


Fig. 4.22. Aspectul exterior al adaptorului cu ultrasunete УЗП-10.

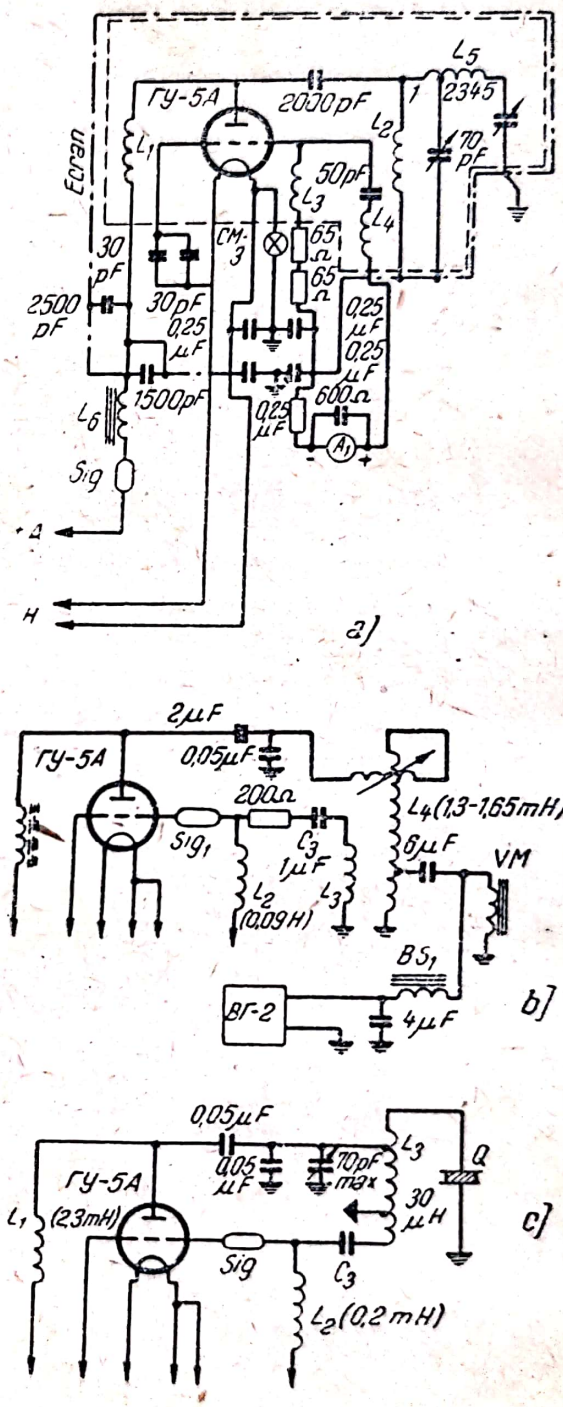


Fig. 4.23. Schema modificărilor generatorului ЛГЕ-3Б, pentru funcţionarea cu vibratoare ultrasonore:

a — schema părţii generatoare, supusă modificării; *b* — partea modificată a schemei pentru funcţionarea pe frecvenţa de 20 kHz; *c* — partea modificată a schemei pentru funcţionarea pe frecvenţa de 1 000 kHz.

Scanned with OKEN Scanner

La bornele circuitului acordat se dezvoltă o tensiune de circa 4 000 V, ceea ce este cu totul suficient pentru excitarea vibratorului de cuarț pe frecvența de 1 MHz. În plus, în interiorul dulapului generatorului, în locul condensatorului de lucru se instalează condensatoarele circuitului acordat. Din cauza faptului că cristalul de cuarț reprezintă o sarcină de impedanță mare, el poate fi conectat în paralel cu circuitul acordat.

În cazul modificării generatorului pentru 20 kHz, adecvat funcționării cu vibratoare magnetostrictive, se mărește capacitatea condensatoarelor separatoare anodic și de grilă, precum și inductanța bobinei de șoc anodice și celei de grilă. Bobinele din circuitul acordat se fac sub formă de variometru. Conectarea vibratorului magnetostrictiv se face la o priză a variometrului.

Modificarea generatorului ЛГЗ-10 pentru funcționarea cu vibratoare ultrasonore la 20 și 800 kHz. Generatorul ЛГЗ-10 având puterea de 10 kW și frecvența de 250—300 kHz, servește la călirea pieselor metalice.

În fig. 4.24, *a* este reprezentată schema părții generatoare, iar în fig. 4.24 *b* și *c* — schema cu elementele modificate pentru funcționarea cu vibratoare ultrasonore la frecvența de 20 și 800 kHz.

În cazul modificării generatorului pentru 800 kHz, la bobina circuitului acordat se face o priză și se micșorează capacitatea grupului de condensatoare. Pentru reglarea frecvenței se montează un condensator variabil cu ulei.

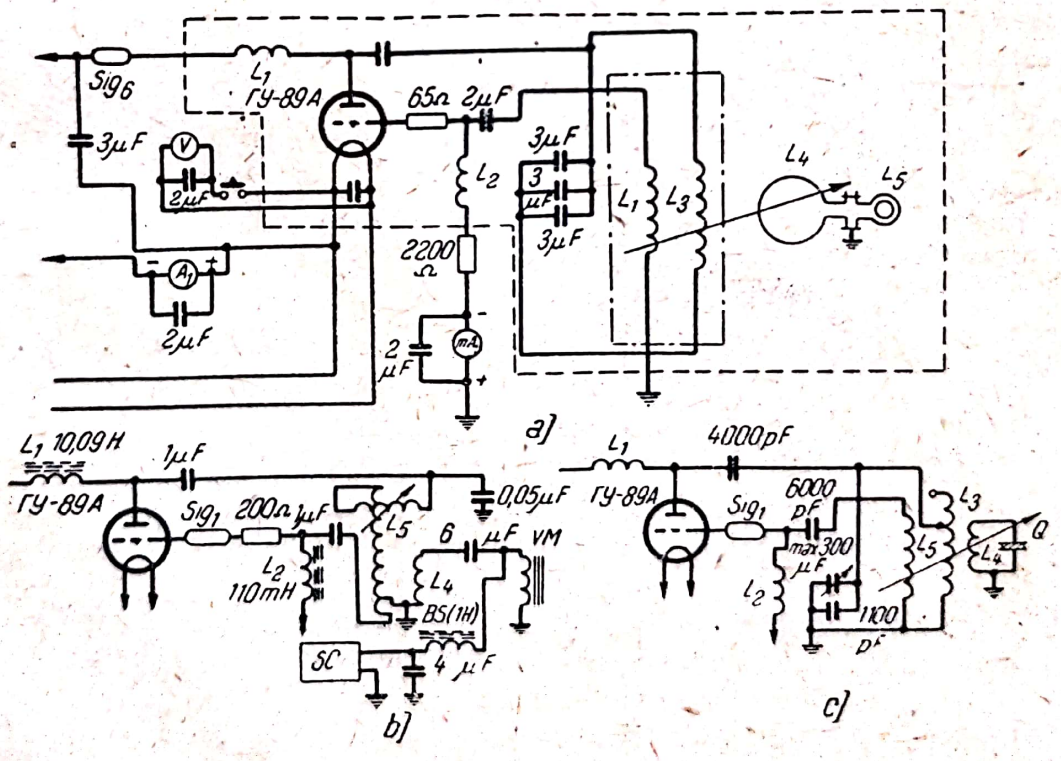


Fig. 4.24. Schema modificărilor generatorului ЛГЗ-10 pentru funcționarea cu vibratoare ultrasonore:

a — schema părții generatoare, supusă modificării; *b* — partea modificată a schemei pentru funcționarea pe frecvența de 20 kHz; *c* — partea modificată a schemei pentru funcționarea pe frecvența de 1 000 kHz.

Pentru cuplajul cu sarcina se poate folosi secundarul format dintr-o singură spiră. Bobinele de șoc anodice și de grilă și condensatoarele separatoare rămîn neschimbate.

În cazul modificării pentru 20 kHz se mărește inductanța bobinei de șoc anodice și celei de grilă, precum și capacitatea condensatoarelor separatoare din circuitul anodic și cel de grilă.

Cuplajul sarcinii (vibratorul magnetostrictiv *VM*) cu circuitul acordat este inductiv; premagnetizarea se aplică de la sursa separată de curent continuu *SC*; frecvența se reglează cu ajutorul variometrului. Datele bobinei de șoc anodice și celei de grilă sînt identice cu cele de la generatorul ЛГЕ-3Б.

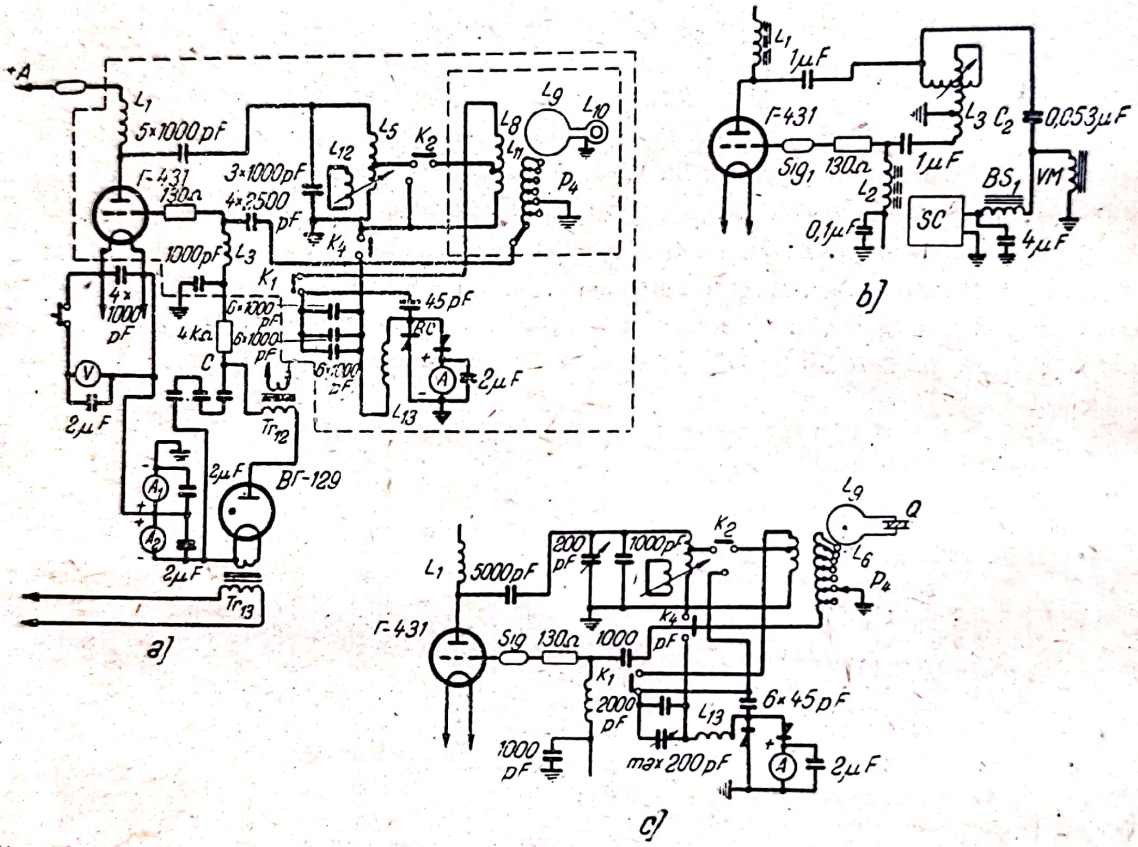


Fig. 4.25. Schema modificărilor generatorului ЛГЗ-30 pentru funcționarea cu vibratoare ultrasonore:

a — schema de principiu a părții generatoare, supusă modificării; *b* — partea modificată a schemei pentru funcționarea pe frecvența de 20 kHz; *c* — partea modificată a schemei pentru funcționare pe frecvența de 1 000 kHz.

Modificarea generatorului ЛГЕ-30 pentru funcționarea cu vibratoare ultrasonore la 20 și 800 kHz. Generatorul ЛГЕ-30 cu puterea de 30 kW și frecvența de 250—300 kHz servește la călirea pieselor metalice.

În fig. 4.25, *a* este reprezentată schema părții generatoare, iar în fig. 4.25, *b* și *c*, sînt reprezentate schemele cu elemente modificate pentru funcționarea cu vibratoare ultrasonore la frecvența de 20 și 800 kHz.

În cazul modificării pentru 800 kHz, pentru vibratoarele de titanat de bariu, sînt afectate bobina circuitului acordat și transformatorul de înaltă

frecvență. Astfel, se micșorează numărul de spire al acestora, precum și capacitatea condensatorului din circuitul acordat și capacitatea grupului de condensatoare al transformatorului de înaltă frecvență. La circuitul acordat și la transformator se conectează condensatoare variabile cu ulei, destinate reglării fine a frecvenței. Tensiunea pentru sarcină se ia de la spira-secundar a transformatorului. Bobina de șoc anodică și cea de grilă, precum și condensatoarele separatoare din circuitul anodic și de grilă, rămîn neschimbate.

În cazul modificării generatorului pentru 20 kHz, se mărește inductanța bobinei de șoc anodice și a celei de grilă și capacitatea condensatoarelor separatoare din curentul anodic și de grilă. Reglarea fină a frecvenței se face cu ajutorul unui variometru.

Sarcina (vibratorul magnetostrictiv *VM*) se conectează direct la circuitul acordat. Premagnetizarea se realizează cu o sursă separată de curent continuu *SC*.

După cum rezultă din schemele prezentate, se supun modificării bobinele circuitului acordat și se schimbă valoarea condensatorelor separatoare și a bobinelor de șoc. Conectarea sarcinii care lucrează la o tensiune joasă (vibratoare magnetostrictive) se face prin cuplaj conductiv. Conectarea vibratoarelor din titanat de bariu trebuie efectuată printr-un cuplaj inductiv, cu circuitul acordat anodic. Conectarea cristalului de cuarț poate fi făcută în paralel cu circuitul acordat, prin intermediul unui condensator separator. Pentru funcționarea pe frecvențe diferite de cele indicate în schemă, schimbarea valorilor elementelor schemei se face prin calcule radiotehnice cunoscute.

TABELA 4.4

Caracteristici principale	Tipul instalației				
	ЛГЕ-3Б	ЛГЗ-10А	ЛГП-30ЛГЗ-30	ЛГП-60	ЛГЗ-100
Frecvența de lucru, kHz	2 500 – 3 000	30	200—300	200—300	200—250
Puterea:					
de ieșire, kW	1,5—2	8	20—30	60	100
absorbită, kVA	3,5	11	55	110	180
Tipul tubului	ГУ—5А	ГУ—89А	Г—431	Г—431	Г—433А
Numărul de tuburi, buc.	1	1	1	2	1
Debitul de apă	2,5 l/min	9 l/min	1 000 l/h	1 000×1 600 l/h	2 500 l/h
Dimensiuni de gabarit, mm	600×730×1 730	1000×1300×2120	1 400×2 000×2 300	1 400×2 000×2 300	3300×2900×1700

Tabela 4.4 conține datele principale ale generatoarelor industriale pentru încălzire prin inducție ЛГЗ și ЛГЕ, care — după modificări — sînt folosite pentru funcționarea cu vibratoare ultrasonore.

b) Instalații generatoare de ultrasunete realizate pe baza amplificatoarelor pentru radioficare

Pe lîngă instalațiile descrise mai sus, în industrie sînt folosite instalațiile generatoare de ultrasunete realizate pe baza amplificatoarelor de radioficare

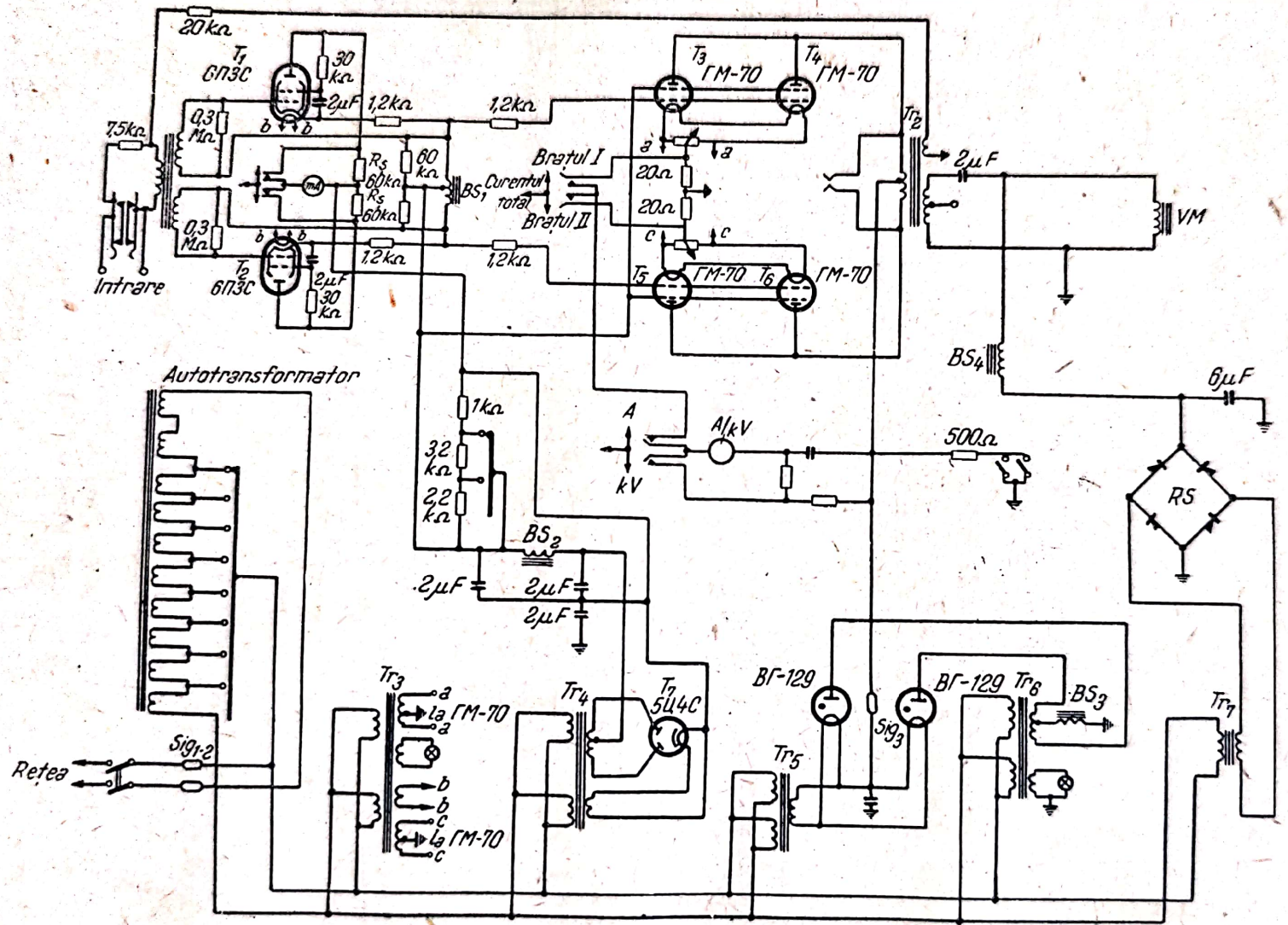


Fig. 4.26. Schema de principiu a amplificatorului de radioficare ТУ-600, adaptat pentru funcționarea cu vibratoare ultrasonore.

de tip ТУ-600; ТУ-5 şi ТУ-10 cu puterea de 0,6; 5 şi respectiv, 10 kW. Aceste instalaţii se compun dintr-un oscilator pilot (acesta este în mod obişnuit un oscilator standard de tip ЗГ-12), un amplificator de putere tip ТУ şi un redresor de pregmanetizare de tip BCA sau ВГ.

Ca exemplu, mai jos este descrisă o instalaţie generatoare de ultrasunete realizată pe baza amplificatorului de radioficare ТУ-600. În fig. 4.26 este reprezentată schema de principiu a amplificatorului de radioficare ТУ-600, modificată pentru funcţionarea în gama de frecvenţe ultrasonore. În schemă există toate subansamblurile necesare funcţionării normale a amplificatorului, precum şi dispozitive de blocare pentru exploatarea fără pericol a acestuia. Drept redresor de premagnetizare se foloseşte un redresor cu seleniu de tip BCA-45. După modificare, instalaţia are următoarele carecteristici tehnice principale:

Puterea de ieşire	600 W	Gama de frecvenţe	3—8 kHz
Puterea absorbită	1 200 W	Alimentarea de la reţea	220 V

În mod analog se efectuează modificarea amplificatoarelor de radioficare tip ТУ-5 şi ТУ-10 pentru funcţionarea cu vibratoare ultrasonore. Pentru lărgirea benzii de trecere, în montaj au fost introduse elemente suplimentare care permit ridicarea caracteristicii de frecvenţă a lanţului de amplificare în dauna unei oarecare „tăieri" la frecvenţele joase.

Drept oscilator pilot se foloseşte un oscilator de audiofrecvenţă tip ЗГ-12. Semnalul de la oscilatorul pilot se aplică, printr-un transformator, la cele 2 tuburi 6 П3 ale preamplificatorului în contratimp de la intrare. Sarcina preamplificatorului este o bobină de şoc cu priză mediană de la care se ia tensiunea de excitaţie pentru etajul final al amplificatorului de putere. În amplificatorul de putere se folosesc 4 tuburi ГМ-70 care funcţionează cîte două în paralel, într-un montaj în contratimp. Sarcina etajului final este un transformator de ieşire secţionat.

În amplificator s-a prevăzut posibilitatea reglării tensiunii reţelei de alimentare şi a semnalului de audiofrecvenţă.

4.6. ELEMENTELE DE ADAPTARE A GENERATOARELOR ELECTRONICE CU VIBRATOARELE

Adaptarea ieşirii generatorului electronic cu sarcina (un vibrator oarecare) constituie unul dintre factorii care asigură buna funcţionare a traductorului ultrasonor şi obţinerea unui randament înalt al întregii instalaţii. În cazul general, adaptarea ieşirii generatorului cu sarcina se reduce la adaptarea rezistenţelor de ieşire şi — respectiv — de intrare ale acestora. Rezultatele optime vor fi obţinute cînd impedanţele totale raportate ale ieşirii generatorului şi intrării sarcinii vor fi egale.

În cele ce urmează se dau recomandări succinte referitoare la adaptarea generatoarelor electronice cu vibratoarele ultrasonore, precum şi exemple de calcul.

Scanned with OKEN Scanner

a) Adaptarea unui generator electronic cu vibratoare piezoelectrice[1])

Pentru calcul se cunosc în mod obișnuit următoarele mărimi ale vibratorului: frecvența f, aria S și puterea acustică specifică (intensitatea) I.

Calculul adaptării vibratoarelor piezoelectrice cu generatoarele electronice (fig. 4.27) se reduce la determinarea locului de conectare a anodului tubului la bobina de inductanță a circuitului acordat anodic al generatorului, adică la determinarea mărimii p care reprezintă raportul dintre numărul de spire din circuitul anodic și numărul total de spire al bobinei din circuitul acordat

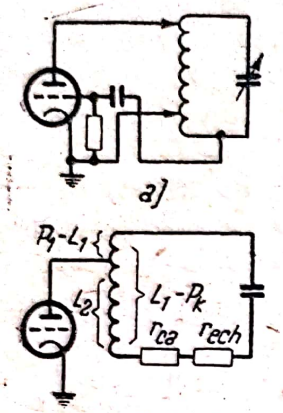


Fig. 4.27. Schema cuplări unui generator electronic cu un vibrator piezoelectric:
a — schema de principiu a generatorului; *b* — schema echivalentă cu vibrator; *L* — inductanța bobinei circuitului acordat; *C* — capacitatea totală.

$$p = \frac{n_1}{n_b},$$

unde: p este coeficientul de conectare;
n_1 — numărul de spire din circuitul anodic al circuitului acordat;
n_b — numărul de spire total al bobinei circuitului acordat;

Coeficientul de conectare se determină cu formula cunoscută

$$p = \sqrt{\frac{r R}{\rho_{ca}^2}},$$

în care: p este coeficientul de conectare;
r — suma rezistențelor din circuit, Ω;
R — rezistența optimă de sarcină, Ω;
$\rho_{ca} = \omega L = \frac{1}{\omega C}$ — reactanța caracteristică a circuitului anodic, Ω.

Suma rezistențelor din circuitul anodic se compune din rezistența de pierderi active din circuit și rezistența echivalentă a vibratorului, transpusă în serie:

$$r = r_{ca} + r_{ech}.$$

Rezistența optimă de sarcină este determinată de tensiunea anodică și puterea utilă debitată de tubul generator

$$R = \frac{(E_a k)^2}{2 P_u},$$

unde: E_a este tensiunea anodică, V;
k — coeficientul de utilizare a tensiunii anodice (de obicei k=0,8... ... 0,95);
P_u — puterea utilă a tubului generator, W.

Calculul se efectuează în următoarea ordine:

1. Se determină puterea acustică a vibratorului considerat, cu formula

$$P_{ac} = IS,$$

[1]) Metoda a fost propusă de M. G. Sirotiuk.

în care: P_{ac} este puterea acustică radiată, W;
I — puterea acustică specifică (intensitatea), W/cm^2;
S — aria suprafeței radiante, cm^2;

2. Determinarea puterii preluate de vibrator de la tubul generator se face cu formula

$$P_u = \frac{P_{ac}}{\eta},$$

în care: P_u este puterea utilă a tubului, W;
P_{ac} — puterea acustică a vibratorului, W;
η — randamentul total al elementului de adaptare dintre tub și vibrator și randamentul electroacustic al vibratorului propriu-zis, (în mod obișnuit, în condiții optime, pentru vibratorul de cuarț avem $\eta = 0{,}6$, iar pentru vibratorul din titanat de bariu $\eta = 0{,}5$).

În funcție de valoarea obținută pentru P_u și de valorile cunoscute (impuse) ale lui E_a și k, se determină valoarea optimă a rezistenței de sarcină R a tubului:

$$R = \frac{(E_a k)^2}{2 P_u}.$$

3. Valoarea rezistenței circuitului acordat la rezonanță se determină cu expresia

$$R_{ca} = \rho_{ca} Q_{ca},$$

în care $\rho_{ca} = \omega L = 1/\omega C$; aici C este capacitatea circuitului acordat anodic, inclusiv capacitatea vibratorului piezoelectric (în mod obișnuit aceasta este de cîteva zeci de picofarazi pentru cuarț și pînă la cîteva mii de picofarazi pentru titanatul de bariu):

$\omega = 2\pi f$ — pulsația, rad/s;
L — inductanța circuitului acordat anodic, H;
Q_{ca} — factorul de calitate al circuitului acordat (în mod obișnuit pentru frecvențe pînă la 1 MHz, $Q_{ca} = 100 \ldots 200$, iar la frecvențe mai înalte, $Q_{ca} = 200 \ldots 400$);
R_{ca} — rezistența la rezonanță a circuitului acordat, Ω.

4. Rezistența de pierderi active din circuitul acordat anodic se calculează cu formula

$$r_{ca} = \frac{\rho_{ca}}{Q_{ca}}.$$

5. Rezistența echivalentă a vibratorului, transpusă în serie, se găsește cu expresia

$$r_{ech} = \frac{\rho^2_a}{R_{vib}}.$$

în care: R_{vib} este rezistența vibratorului, Ω.

Mărimea R_{vib} se determină din următoarele expresii:
pentru un vibrator unidirecțional în $\lambda/2$:

$$R_{vib} = \frac{1}{4} \frac{(\rho C)_{med}\, l^2 \cdot 9 \cdot 10^{11}}{d_{33}^2\, S\, \eta^3 am} [\Omega];$$

pentru un vibrator bidirecțional în $\lambda/2$:

$$R_{vib} = \frac{1}{2} \frac{(\rho C)_{med}\, l^2 \cdot 9 \cdot 10^{11}}{d_{33}^2\, S\, \eta^2 am} [\Omega];$$

pentru un vibrator unidirecțional în $\lambda/4$:

$$R_{vib} = \frac{(\rho C)_{med}\, l^2 \cdot 9 \cdot 10^{11}}{d_{33}^2\, S\, \eta^2 am} [\Omega];$$

pentru un vibrator bidirecțional în $\lambda/4$:

$$R_{vib} = \frac{2\,(\rho C)_{med}\, l^2 \cdot 9 \cdot 10^{11}}{d_{33}^2\, S\, \eta^2 am} [\Omega];$$

pentru un vibrator unidirecțional cu mai multe straturi:

$$R_{vib} = \frac{\left[1 + \left(\frac{\pi f_0 l \rho_1 C_1 S_1}{\rho C^2 S}\right)^2\right](\rho C)_{med}}{2\pi^2 d_{33}^2 (\rho_1 C_1)^2 f_0 S \eta_{am} E^2} [\Omega];$$

pentru un vibrator bidirecțional cu mai multe straturi.

$$R_{vib} = \frac{\left[1 + \left(\frac{\pi f_0 l \rho_1 C_1 S_1}{\rho C^2 S}\right)^2\right](\rho C)_{med}}{\pi^2 d_{33}^2 (\rho_1 C_1)^2 f_0^2 S \eta_{am}^2 E^2} [\Omega];$$

pentru cuarț:

$$R_{vib} = \frac{10^{15}}{24{,}2\, \rho_1 C_1 Q_{vib} f^2 \eta_1 S},$$

în care: $\rho_1 C_1$ este rezistența acustică a mediului iradiat cu sunete, g/cm^2·s;
f — frecvența, MHz;
Q_{vib} — factorul de calitate al vibratorului (pentru cuarț); în cazul radiației bidirecționale în apă $Q_{vib} = 7{,}5$; în cazul vibrației unidirecționale în apă (în cealaltă parte în aer) $Q_{vib} = 15$;
η_1 — randamentul vibratorului (în mod obișnuit 0,6—0,8);
S — aria suprafeței radiante, cm^2.

Pentru cazurile de radiație unidirecțională în apă, care se întîlnesc cel mai des, după transformări formula dată mai sus va căpăta forma:

$$R_{vib} = \frac{10^6}{0{,}85\, \eta_1 f^2 S}.$$

Pentru titanatul de bariu, în cazul radiației unidirecționale, formula de mai sus va căpăta forma (după L. Bergmann).

$$R_{vib} = \frac{1{,}1 \cdot 10^{-2} \ldots 7 \cdot 10^{-4}\, \rho_1 C_1}{f^2 S}.$$

6. Pe baza rezultatelor obținute pentru r_{ca} și r_{ech} se determină suma rezistențelor din circuitul acordat:

$$r = r_{ca} + r_{ech}.$$

7. În funcție de valorile găsite pentru suma r a rezistențelor din circuitul acordat anodic, rezistența optimă de sarcină R a tubului și rezistența caracteristică ρ_{ca} a circuitului acordat se determină valoarea căutată a coeficientului de conectare p:

$$p = \sqrt{\frac{rR}{\rho^2_{ca}}}.$$

Valorile obținute prin calcul corespund regimului optim de funcționare a generatorului și vibratorului și sînt precizate în timpul reglării practice.

b) Adaptarea generatorului electronic cu vibratorul magnetostrictiv

Pentru calcul se cunosc în mod obișnuit următoarele mărimi: frecvența f a vibratorului, numărul de spire w al bobinajului vibratorului, aria S_c a secțiunii unei „coloane" a vibratorului, lungimea medie l_{med} a liniei de forță magnetice și permeabilitatea magnetică μ a materialului din care este confecționat vibratorul magnetostrictiv.

Calculul adaptării generatorului cu vibratorul magnetostrictiv (fig. 4.28) se reduce, în cazul cel mai simplu, la adaptarea impedanțelor raportate ale generatorului și vibratorului magnetostrictiv (inclusiv impedanța vibratorului magnetostrictiv propriu-zis și cea a filtrului oprește bandă).

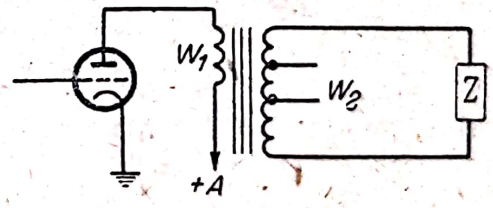


Fig. 4.28. Schema cuplării unui generator electronic cu un vibrator magnetostrictiv.

Așadar, este necesar să se determine impedanța Z_{vm} a vibratorului magnetostrictiv propriu-zis, impedanța Z_{fr} a filtrului oprește bandă și impedanța de ieșire Z_{gen} a generatorului și să se determine condițiile pentru care este îndeplinită relația:

$$Z_{gen} = Z_{vm} + Z_{fr}.$$

Calculul se efectuează în ordinea următoare.

1. Impedanța vibratorului magnetostrictiv se determină cu formula

$$Z_{vm} = \frac{Z_c (R + Z_L)}{R + Z_L + Z_c} = \frac{R + j\omega L}{1 - \omega^2 LC + jR\omega C},$$

în care: R este rezistența bobinajului vibratorului magnetostrictiv, Ω;
L — inductanța bobinajului, H;
C — capacitatea bobinajului (între spire), F;
$\omega = 2\pi f$ — pulsația;
Z_C — reactanța capacitivă a vibratorului magnetostrictiv, Ω;
Z_L — reactanța inductivă a vibratorului magnetostrictiv, Ω.

Rezistența bobinajului poate fi calculată cu formula

$$R = \rho \frac{l}{S},$$

în care: ρ este rezistivitatea conductorului de înfășurare, $\Omega \cdot mm^2/m$;
l — lungimea bobinajului, m;
S — secțiunea conductorului, mm^2.

Inductanța bobinajului vibratorului magnetostrictiv se calculează cu formula

$$L_{vm} = \frac{4\pi\mu w^2 S_c \cdot 10^{-9}}{l_{med}},$$

în care: w este numărul de spire al bobinajului;
S_c — aria secțiunii unei coloane, cm^2;
l_{med} — lungimea medie a liniei de forță magnetice, cm;
μ — permeabilitatea magnetică a materialului miezului, Gs/Oe.

Valoarea capacității C dintre spire nu se calculează de obicei, ci — în mod orientativ — este luată egală cu 10—20 pF.

2. Impedanța filtrului oprește bandă este determinată de relația dintre capacitatea și inductanța acestuia (se neglijează rezistența):

$$Z_f = \frac{Z'_L Z'_c}{Z'_L + Z'_c} = \frac{j\omega L_f}{1 - \omega^2 L_f C_f},$$

unde $Z'_C = j\omega L_f$ este reactanța inductivă a filtrului oprește bandă;
$Z'_C = 1/j\omega C_f$ — reactanța capacitivă a filtrului oprește bandă.

În mod obișnuit valoarea lui L_f este luată de 10—20 ori mai mare decît valoarea lui L_{vm}, adică $L_f \approx 10—20\ L_{vm}$.

Valoarea lui C_f este determinată din expresia

$$C_{fr} = \frac{1}{\omega^2 L_f}.$$

3. Valorile obținute pentru Z_{vm} și Z_{fr} determină impedanța de sarcină Z, egală cu:

$$Z = \frac{Z_{vm} Z_f}{Z_{vm} + Z_f}.$$

4. Adaptarea se efectuează prin calculul coeficientului de transformare cu formula

$$n = \sqrt{\frac{2R_i}{Z}}.$$

în care: R_i este rezistența internă a tubului final (în curent alternativ), Ω.
Z — modulul impedanței circuitului de sarcină, Ω.

5. Cunoscîndu-se numărul de spire w al bobinajului primar, numărul de spire al bobinajului secundar se va determina cu formula

$$w_2 = \frac{w_1}{n}.$$

6. Valorile obținute prin calcul corespund regimului optim de funcționare a generatorului și vibratorului magnetostrictiv, care se obține în practică prin variația numărului de spire al bobinajului secundar al transformatorului de ieșire, adică prin variația coeficientului de transformare n.

c) Exemple de calcul

Calculul adaptării unui generator electronic cu vibratoare piezoelectrice. În ce privește metodica, calculul vibratoarelor piezoelectrice de cuarț și de titanat de bariu este analog. Pentru calculul vibratoarelor din titanat de bariu este însă necesar să se țină seama de diferențele care există între valorile coeficienților și parametrilor. Mai jos se expune calculul pentru un vibrator de cuarț. Pentru calculul adaptării considerăm dați următorii parametri: $f = 3{,}55$ MHz; $S = 13 \times 20$ mm $= 2{,}6$ cm^2; $I = 20$ W/cm^2.

1. Se determină puterea acustică a vibratorului:

$$P_{ac} = IS = 20 \cdot 2{,}6 = 52 \text{ W}.$$

2. Se determină puterea necesară a tubului generator

$$P_u = \frac{P_{ac}}{\eta} = \frac{5{,}2}{0{,}6} = 87 \text{ W}.$$

3. Admițînd că $E_a = 120$ V și $k = 0{,}9$, găsim valoarea optimă a rezistenței de sarcină a tubului:

$$R = \frac{(E_a k)^2}{2P_u} = \frac{(120 \cdot 0{,}9)^2}{2 \cdot 87} = 110\ \Omega.$$

4. Se determină rezistența caracteristică a circuitului acordat

$$\rho_{ac} = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{1}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 3{,}55 \cdot 10^6 \cdot 60 \cdot 10^{-12}} = 750\ \Omega.$$

(admițînd că C=60 pF).

5. Considerînd $Q_{ca} = 300$, determinăm valoarea rezistenței circuitului acordat la rezonanță:

$$R_{ca} = \rho_{ca}\ Q_{ca} = 750 \cdot 300 = 225\ \text{k}\Omega.$$

6. Se calculează rezistența de pierderi active din circuitul acordat:

$$r_{ca} = \frac{\rho_{ca}}{Q_{ca}} = \frac{750}{300} = 2{,}5\ \Omega.$$

7. Se determină rezistența vibratorului (radiație unidirecțională în apă):

$$R_{rib} = \frac{10^6}{0{,}85\ \eta_1 f^2 S} = \frac{10^6}{0{,}85 \cdot 0{,}7 \cdot 3{,}55^2 \cdot 2{,}6} = 5{,}1 \cdot 10^4\ \Omega = 51\ \text{k}\Omega.$$

8. Se calculează rezistența vibratorului, transpusă în serie:

$$r_{ech} = \frac{\rho^2_{ca}}{R_{vib}} = \frac{750^2}{5{,}1 \cdot 10^4} = 11\ \Omega .$$

9. Suma rezistențelor din circuitul acordat este:

$$r = r_{ca} + r_{ech} = 2{,}5 + 11 = 13{,}5\,\Omega .$$

10. Se determină coeficientul de conectare:

$$p = \sqrt{\frac{rR}{\rho^2_{ca}}} = \sqrt{\frac{13{,}5 \cdot 110}{750^2}} = 0{,}052.$$

Valoarea obținută pentru p este ajustată în timpul reglării practice, prin variația numărului de spire din circuitul anodic.

Calculul adaptării unui generator electronic cu un vibrator magnetostrictiv. Pentru calcul considerăm dați următorii parametrii:

$$f = 20\ \text{kHz};\ w = 10;\ S_c = 25\ \text{mm}^2;\ l_{med} = 28\ \text{cm};\ \mu = 500.$$

1. Se determină rezistența bobinajului:

$$R = \rho \frac{l}{S} \simeq 1{,}8 \cdot 10^{-6} \frac{200}{3{,}4 \cdot 10^{-2}} = 1 \cdot 10^{-2}\ \Omega.$$

(au fost luate următoarele valori: $\rho = 1{,}8 \cdot 10^{-6}\ \Omega \cdot \text{cm}$; $l = 200$ cm; $S = 3{,}4$ mm^2).

2. Se determină inductanța bobinajului vibratorului magnetostrictiv:

$$L_{vm} = \frac{4\pi\mu w^2 S_c \cdot 10^{-9}}{l_{med}} = \frac{4 \cdot 3{,}14 \cdot 500 \cdot 100 \cdot 25 \cdot 10^{-9}}{28} = 560\ \mu\ \text{H}.$$

3. Luînd $C = 10\ \text{pF} = 10^{-11}\ \text{F}$ găsim Z_{vm}:

$$Z_{vm} = \frac{R + j\omega L}{1 - \omega^2 LC + jR\ \omega C} = \frac{10^{-2} + j2 \cdot 3{,}14 \cdot 2 \cdot 10^4 \cdot 56 \cdot 10^{-5}}{1 - 4 \cdot 3{,}14^2 \cdot 4 \cdot 10^8 \cdot 56 \cdot 10^{-5} \cdot 10^{-11} + j10^{-2} \cdot 2 \cdot 3{,}14 \cdot 2 \cdot 10^4 \cdot 10^{-11}} \approx$$

$$\approx \frac{10^{-2} + j11{,}2}{1 - j2 \cdot 10^{-9}}\ [\Omega].$$

4. Se determină parametrii filtrului rejector:

$$L_f = 15\ L_{vm} = 15 \cdot 0{,}56 \cdot 10^{-3}\ H = 8{,}4 \cdot 10^{-3}\ H;$$

$$C_f = \frac{1}{\omega^2 L_f} = \frac{1}{4 \cdot 3{,}14^2 \cdot 4 \cdot 10^8 \cdot 8{,}4 \cdot 10^{-3}} = 0{,}3\ \mu\ F.$$

5. Determinăm pe Z_f:

$$Z_f = \frac{Z'_L Z'_c}{Z'_L + Z'_c} = \frac{j \cdot 2 \cdot 3{,}14 \cdot 2 \cdot 10^4 \cdot 8{,}4 \cdot 10^{-3}}{1 - 4 \cdot 3{,}14^2 \cdot 4 \cdot 10^8\ 8{,}4 \cdot 10^{-3} \cdot 0{,}3 \cdot 10^{-6}} = -j\ 16\,400\ [\Omega].$$

6. Înlocuind valorile numerice ale mărimilor respective, determinăm impedanța de sarcină:

$$Z = \frac{Z_{vm} Z_f}{Z_{vm} + Z_f} = \frac{10^{-2} + j \cdot 11{,}2}{1 - j \cdot 2 \cdot 10^{-9}} \cdot j \cdot 16{,}4 \cdot 10^3 = \frac{18{,}4 \cdot 10^4 - j \cdot 164}{10^{-2} - j \cdot 164 \cdot 10^2}\ [\Omega];$$

$$|Z| = 11{,}2\ \Omega.$$

7. Alegînd un tub cu $R = 10$ k, vom găsi:

$$n = \sqrt{\frac{2R_i}{Z}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 10^4}{11{,}2}} = 42.$$

8. Considerînd că numărul de spire din bobinajul primar este $w_1 = 250$, vom obține:

$$w_2 = \frac{w_1}{n} = \frac{250}{42} \approx 6.$$

9. Valorile obținute vor fi ajustate la reglarea practică, prin variația coeficientului de transformare.

CAPITOLUL 5

GENERATOARE DE IMPULSURI ȘI GENERATOARE ELECTRICE ROTATIVE

5.1. GENERATOARE DE IMPULSURI

Generatoarele electronice descrise, de pildă cele de tip УЗГ, destinate funcționării în regim continuu, pot produce și impulsuri de oscilații sinusoidale în cazul unei modificări parțiale a schemei. Și în acest caz, pentru obținerea unor intensități mari ale ultrasunetelor, generatoarele rămîn costisitoare, au dimensiuni mari și absorb o cantitate apreciabilă de energie electrică.

În ultimul timp, într-o serie întreagă de procese tehnologice, pentru obținerea unor intensități mari ale vibrațiilor ultrasonore, au început să fie folosite generatoare de ultrasunete care funcționează în regim de impulsuri și care provoacă vibrații cu caracter aperiodic. Dintre avantajele unor asemenea generatoare menționăm: simplitatea schemei lor electrice, putere absorbită mai mică, posibilitatea obținerii unei intensități mari a ultrasunetelor în regim de impulsuri (pînă la 30—40 W/cm^2), dimensiuni relativ mici și cost redus.

Pentru generatoarele de impulsuri, drept vibratoare se folosesc în mod obișnuit vibratoarele magnetostrictive. În unele cazuri, se pot utiliza și vibratoare piezoelectrice.

În cele ce urmează se vor prezenta schemele, datele principale și exemple de calcul pentru tipul de generatoare menționate mai sus, folosite pentru diferite scopuri în industria sovietică.

a) Generalități și principiile de calcul al generatoarelor de impulsuri

Generatoarele de impulsuri folosite pentru excitarea unor vibratoare ultrasonore pot fi de mai multe tipuri. Ele se deosebesc unul de altul în funcție de tipul întreruptorului folosit, de numărul de vibratoare conectate și de

intensitatea maximă a ultrasunetelor în regim de impulsuri. De obicei, în generatoarele de impulsuri se folosesc trei tipuri de întreruptoare:

1) relee cu mercur, relee termice cu mercur, relee electromagnetice etc.;

2) tuburi cu descărcări în gaze, comandate (tiratroane): УГТ-350; ТГИ1-400/3,5; Т-409; Т-410; ЕИР-3; ЕИР-5; ВИР-7; ВИР-8 etc.

3) tuburi cu descărcări în gaze, necomandate, de tipurile Р-2; Р-3; РБ-5; РБ-7; Р-280; Р-350; Р-460 etc.

Parametrii de lucru ai acestor întreruptoare predetermină datele principale ale schemei generatorului de impulsuri: frecvenţa de repetiţie a impulsurilor, numărul de vibratoare care pot fi conectate la generator şi intensitatea maximă a ultrasunetelor (în impuls).

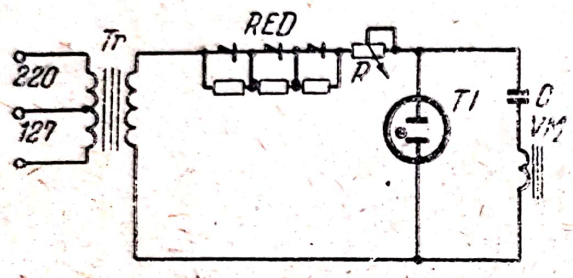


Fig. 5.1. Schema de principiu a unui generator de impulsuri.

Schema de principiu a generatorului de impulsuri este dată în fig. 5.1. Generatorul funcţionează în modul următor:

Curentul electric alternativ de la o reţea cu tensiunea de 127 sau 220 V, se aplică transformatorului *Tr*, în care — în funcţie de construcţia generatorului — tensiunea este ridicată pînă la 500—4 000 V şi apoi este redresată de redresorul *RED*. Prin rezistenţa *R* are loc încărcarea capacităţii *C*. La intrarea în funcţiune a întreruptorului, capacitatea se descarcă prin vibratorul *VM*. Impulsul de curent sau impulsul de tensiune obţinut în acest caz, în funcţie de tipul vibratorului utilizat, excită vibraţii ultrasonore pe frecvenţa proprie a vibratorului.

Calculul datelor principale ale unui generator de impulsuri se efectuează conform metodicii următoare.

Intensitatea ultrasunetelor în impuls se determină cu expresia

$$I_{imp} = \frac{(V_a^2 - V_s^2)\eta}{2ZS \ln \frac{V_a}{V_s}} \text{ [W/cm}^2\text{]},$$

în care: I_{imp} este intensitatea ultrasunetelor în impuls, W/cm^2;

V_a — tensiunea de aprindere a tubului întreruptor, V;

V_s — tensiunea de stingere a tubului întreruptor, V;

η — randamentul vibratorului (deoarece vibratorul funcţionează în regim de impulsuri, iar impulsurile au caracter aperiodic, pentru mărimea η nu se ia de obicei o valoare mai mare decît 5%; de pildă în cazul vibratoarelor magnetostrictive tip pachet, care funcţionează unidirecţional;

Z — impedanţa vibratorului, care depinde de mediu, de pierderile din vibratorul însuşi, de pierderile din conductoarele de legătură etc. (pentru vibratorul magnetostrictiv НЭЛ-IV, care are un bobinaj din 3—6 spire pe coloană, valoarea lui Z este cuprinsă între 20 şi 40 Ω);

S — suprafaţa vibratorului ultrasonor (în cazul funcţionării unidirecţionale a vibratorului de tip НЭЛ-IV, cînd cea de-a doua parte a acestuia vine în atingere cu perna de aer, $S = 64$ cm^2).

În funcţie de parametrii V_a şi V_s, se alege din catalog tipul de tub întreruptor. Cunoscînd caracteristicile tuburilor întreruptoare alese şi ale vibratorului, se poate determina valoarea necesară a capacităţii de încărcare C, cu formula

$$C = \frac{t_d}{Z \ln V_a/V_s},$$

în care t_d este timpul de descărcare (în mod obişnuit acest timp este luat egal cu durata unei perioade a vibraţiilor pe frecvenţa proprie a vibratorului magnetostrictiv), $t_d = \frac{1}{f}$ (pentru vibratorul magnetostrictiv НЭЛ-IV, care are $f = 21$ kHz, $t_d = 1/21 \cdot 10^3 = 47{,}5 \cdot 10^{-6}$s).

În cazul cînd valoarea reactanţei inductive a bobinajului este mult mai mare decît valoarea rezistenţei, valoarea capacităţii de încărcare poate fi calculată cu formula

$$C = \frac{t_d^2}{4\pi^2 L},$$

în care L este inductanţa vibratorului.

După găsirea valorii capacităţii de încărcare, se calculează rezistenţa minimă de încărcare R cu formula

$$R = \frac{E}{I_{inc}},$$

în care: E este tensiunea după redresor (pentru tuburile întreruptoare cu descărcări în gaze, necomandate, E trebuie să fie de 1,5 ori mai mare decît V_a);

I_{inc} — curentul de încărcare (în mod obişnuit este considerat egal cu curentul maxim care poate trece prin redresor).

După aceea, se determină timpul de încărcare al capacităţii C cu formula

$$t_i = RC \ln \frac{E - V_s}{E - V_a} \text{ [s]}.$$

Dacă în parametrii de lucru ai întreruptorului numărul de impulsuri pe secundă nu este limitat, el poate fi determinat cu formula

$$n = \frac{1}{t_i + t_d} \text{ [imp/s]}.$$

Puterea electrică totală absorbită de la reţea se determină cu formula

$$P = \frac{n[C(V_a^2 - V_s^2) + C_1(V'^2_a - V'^2_s)] + 2U_f I_z}{2\eta_{tr}},$$

în care: C_1 este capacitatea din circuitul de comandă, F;
V_a' — tensiunea de aprindere a tubului de comandă, V;
V_s' — tensiunea de stingere a tubului de comandă, V;
U_f — tensiunea de filament a tuburilor, V;
I_f — curentul de filament al tuburilor, A;
η_{tr} — randamentul transformatorului (în mod obişnuit este considerat egal cu 0,8).

În cazul folosirii acestei formule, trebuie să se aibă în vedere următoarele:

1) mărimile V_a', V_s' şi C_1 se folosesc numai pentru tuburile cu descărcări în gaze, comandate; pentru restul tuburilor întreruptoare, aceste mărimi sînt nule;

2) mărimile U_f şi I_f se folosesc pentru tuburile cu catod încălzit, (tiratron, trigatron, kenotron etc.) şi pentru tuburile întreruptoare cu vapori de mercur (cînd ele exprimă parametrii sistemului de încălzire). Pentru celelalte întreruptoare aceste mărimi sînt nule.

La alegerea întreruptorului trebuie să se ţină seama de avantajele şi deficienţele acestuia, înfăţişate mai jos.

Dintre avantajele întreruptorului cu mercur fac parte: durata de serviciu îndelungată şi utilizarea completă a energiei condensatorului de încărcare; dintre dezavantaje — complexitatea fabricării lui, existenţa unor circuite suplimentare de comandă a întreruptorului, frecvenţa de lucru mică (2—3 imp/s, în afară de cele tip inel, care au o frecvenţă pînă la 50 imp/s) şi funcţionarea numai în poziţie verticală.

Dintre avantajele tuburilor cu descărcări în gaze, comandate, menţionăm: posibilitatea funcţionării cu o frecvenţă de repetiţie a impulsurilor mult mai mare, posibilitatea obţinerii unor puteri mai mari decît în cazul folosirii releelor cu mercur. Durata de serviciu relativ scurtă, utilizarea incompletă a energiei condensatorului de încărcare, precum şi existenţa unor circuite suplimentare de comandă a tubului întreruptor constituie însă dezavantajele acestor elemente.

Dintre avantajele tuburilor necomandate, cu descărcări în gaze, fac parte: posibilitatea obţinerii unei frecvenţe mari de repetiţie a impulsurilor (pînă la 1 000 imp/s) şi posibilitatea realizării unei scheme simple de generator de impulsuri.

Deficienţele acestor tuburi întreruptoare sînt durata de serviciu relativ scurtă şi utilizarea incompletă a energiei condensatorului de încărcare.

În cele ce urmează se descriu cîteva construcţii tip de generatoare de impulsuri, realizate cu diverse tipuri de întreruptoare.

b) Descrierea principalelor tipuri de generatoare de impulsuri

Generatorul de impulsuri ИГРЛ-*10 cu tub cu descărcări în gaze necomandat* poate fi folosit pentru alimentarea simultană a unuia sau două vibratoare magnetostrictive de tip НЭЛ-IV, care funcţionează cu o intensitate a ultrasu-

netelor, în impuls, pînă la 10—20 W/cm². În acest generator, a cărui schemă este dată în fig. 5.2, drept tub întreruptor se foloseşte un tub cu descărcări în gaze de tip РБ-7.

Generatorul se compune dintr-un transformator *Tr* cu tensiunea de ieşire de 400 V, redresorul *RED* cu tensiunea încincită pînă la 2 000 V, realizat cu diode cu germaniu ДГ—Ц24, rezistenţa de încărcare *R*, condensatorul de încărcare *C*, tubul de descărcare şi vibratorul magnetostrictiv *VM*. Generatorul funcţionează în modul următor. Tensiunea de la bornele bobinajului secundar al transformatorului ridicător de tensiune ajunge la redresor. Prin rezistenţa de încărcare *R* are loc încărcarea capacităţii *C*. Cînd tensiunea de la bornele condensatorului va deveni egală cu cea de aprindere, tubul de descărcare se va aprinde şi capacitatea *C* se va descărca prin tub şi prin bobinajul vibratorului magnetostrictiv. Frecvenţa de repetiţie a impulsurilor poate fi schimbată variind valoarea rezistenţei de încărcare.

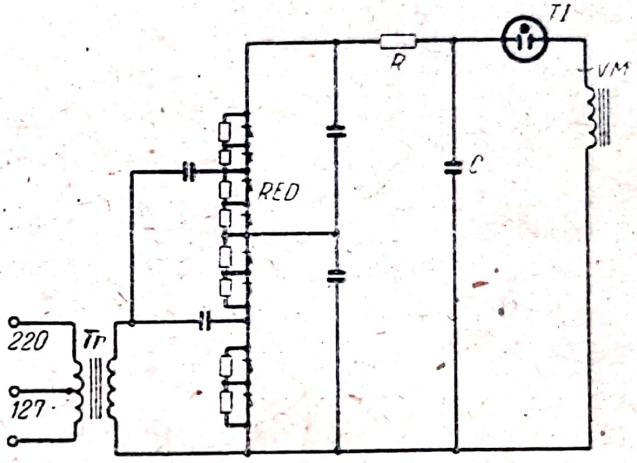


Fig. 5.2. Schema de principiu a generatorului de impulsuri tip ИГРЛ-10.

Toate piesele componente ale generatorului se montează pe un şasiu (fig. 5.3) şi se acoperă cu un capac.

Generatorul ИГРЛ-10 are următoarele date: tensiunea redresată 2 000 V; tensiunea de aprindere a tubului de descărcare $V_a = 1\,500$ V, iar tensiunea de stingere $V_s = 250$ V; vibratorul magnetostrictiv НЭЛ-IV (în cazul unui bobinaj cu 4 spire pe coloană), $Z = 25\ \Omega$; timpul de descărcare $t_d = 47{,}5 \cdot 10^{-6}$s; intensitatea ultrasunetelor în impuls $I_{imp} = 20$ W/cm²; frecvenţa de repetiţie a impulsurilor (maximă) $n = 30$ imp/s; puterea absorbită de la reţea $P = 175$ W.

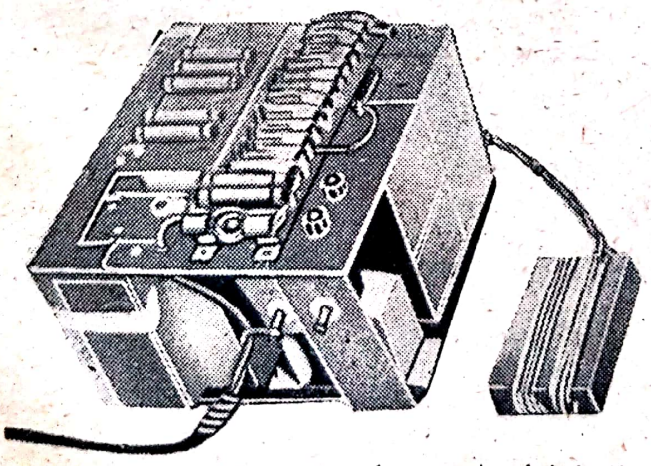


Fig. 5.3. Aspectul exterior al generatorului de tip ИГРЛ-10

Generatorul de impulsuri ИГРЛ-2 *(*ИГ-8*) cu tub cu descărcări în gaze, comandat,* este folosit mai ales pentru alimentarea vibratoarelor magnetostrictive în instalaţiile care servesc la împiedicarea formării pietrei şi a altor depuneri la cazane şi aparate. Drept tub întreruptor se folosesc tuburi cu descărcări în gaze, comandate, de tip УГТ-350. Schema unui asemenea generator este reprezentată în fig. 5.4. Generatorul se

compune dintr-un transformator (Tr_1) cu tensiunea de ieşire de 350 V, un redresor *RED* realizat cu diode cu germaniu ДГ-Ц27, care debitează la ieşire o tensiune redresată de 500 V, rezistenţa de încărcare R_1 capacitatea de încărcare C_2, tubul cu descărcări în gaze T_2 (УГТ-350), tubul de comandă T_1 (tiratronul ТГ01/1,3), transformatorul de impulsuri Tr_2 şi vibratorul magnetostrictiv *VM* (НЭЛ-IV).

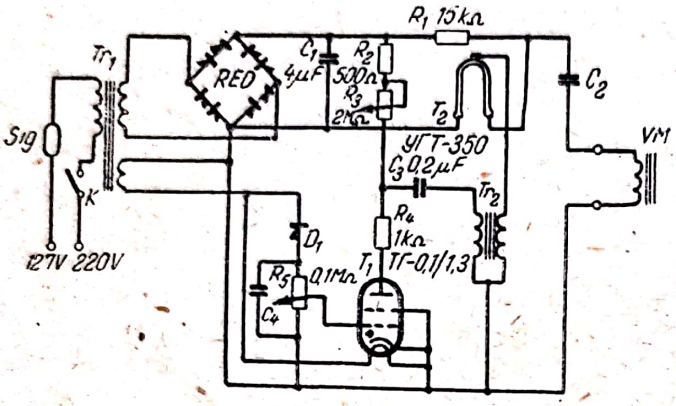


Fig. 5.4. Schema de principiu a generatorului de impulsuri ИГРЛ-2. (ИГ-8).

Montajul funcţionează în modul următor. De la redresorul *RED*, prin rezistenţa de încărcare R_1, se face încărcarea capacităţii C_2, iar concomitent — prin rezistenţele R_2 şi R_3 — are loc încărcarea capacităţii C_3. Cînd tensiunea de la bornele condensatorului C_3 atinge o valoare suficientă pentru aprinderea tiratronului care comandă circuitul, începe descărcarea condensatorului C_3 prin rezistenţa R_4, tiratron şi bobinajul primar al transformatorului de impulsuri. În bobinajul secundar al transformatorului de impulsuri se induce un impuls de înaltă tensiune, care provoacă ionizarea gazului din tubul T_2. Condensatorul C_2 se descarcă prin tubul cu descărcări în gaze şi prin bobinajul vibratorului magnetostrictiv. Numărul de impulsuri poate fi reglat cu rezistenţa R_5 conectată în circuitul de grilă al tiratronului. Această schemă dă posibilitatea să se varieze frecvenţa de repetiţie a impulsurilor de la 2 pînă la 20 imp/s.

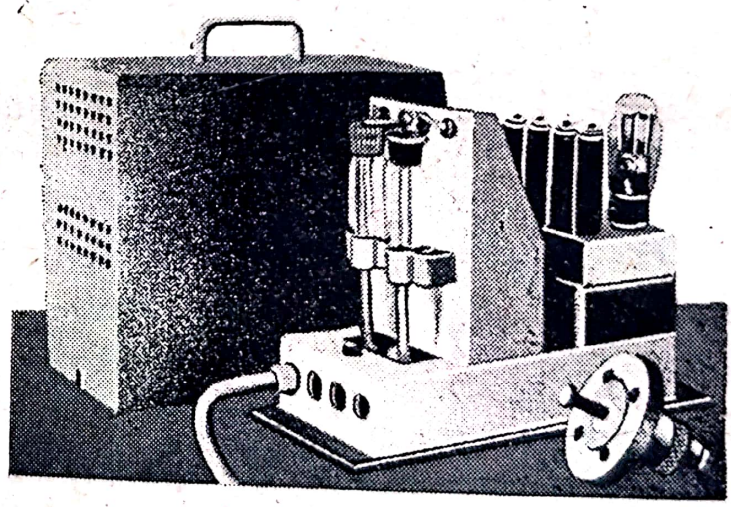


Fig. 5.5. Aspectul exterior al generatorului de impulsuri ИГРЛ-2 (ИГ-8).

Aspectul exterior al generatorului ИГРЛ-2 este reprezentat în fig. 5.5.

Generatorul de impulsuri ИГРЛ-2 are următoarele date: tensiunea redresată $E=500$ V; tensiunea de aprindere $V_a=500$ V, iar tensiunea de stingere $V_s=40$ V; vibratorul НЭЛ-IV (în cazul unui bobinaj cu 4 spire de coloană); $Z=25\ \Omega$; timpul de descărcare $t_d = 47{,}5\cdot10^{-6}$s; intensitatea ultrasunetelor în impuls $I_{imp} = 1{,}5$ W/cm^2; frecvenţa de repetiţie a impulsurilor $n = 2\ldots20$ imp/s; puterea absorbită de la reţea $P=70$ W.

Generatorul de impulsuri ИГРЛ-20 (ТУИГ-2) *cu tiratron* poate fi folosit pentru excitarea simultană a patru vibratoare magnetostrictive НЭЛ-IV, care

funcţionează cu o intensitate a ultrasunetelor în impuls pînă la 20—30 W/cm². Generatorul (fig. 5.6) se compune dintr-un redresor de înaltă tensiune realizat conform schemei în punte cu gazotroane ВГ-129, rezistenţa de încărcare R_1, capacitatea de încărcare C_6, tiratroanele de descărcare ТГИ-400/3,5, un multivibrator cu tuburi 6Ж8, un repetor catodic cu tubul 6Н8, un redresor cu tubul 6Ц5С şi transformatorul de filament Tr_3.

Generatorul funcţionează în modul următor. După încălzirea tuburilor (cel puţin 5 min), se aplică înalta tensiune, care este redresată şi apoi aplicată capacităţii de încărcare, prin intermediul rezistenţei de încărcare. Constanta de timp a circuitului de încărcare a fost aleasă suficient de mică; de aceea, con-

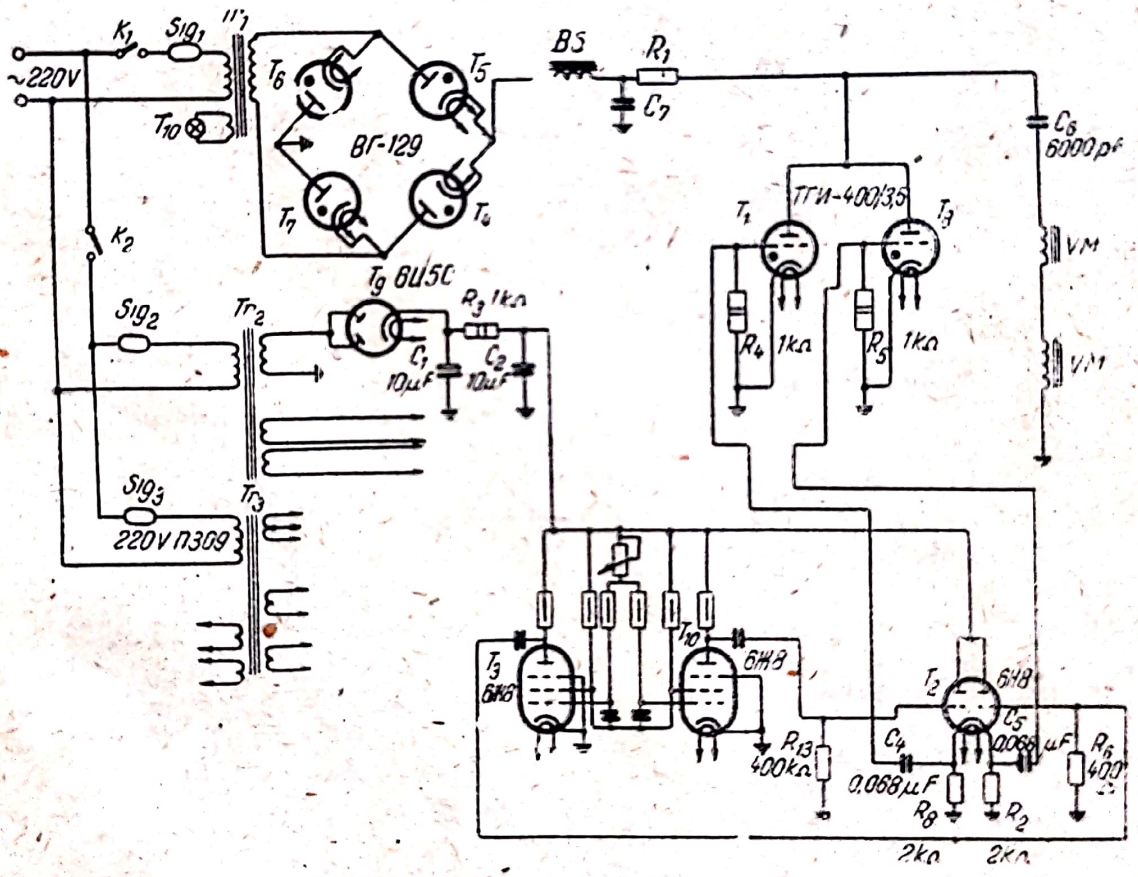


Fig. 5.6. Schema de principiu a generatorului de impulsuri ИГРЛ 20 (ТУИГ-2).

densatorul se va încărca pînă la o tensiune egală cu tensiunea redresată, într-un interval de timp relativ scurt. Multivibratorul generează impulsuri dreptunghiulare. Aceste impulsuri sînt apoi diferenţiate şi se aplică, prin repetorul catodic, la grilele tiratroanelor. În circuitul de grilă al multivibratorului este conectată o rezistenţă variabilă care permite reglarea frecvenţei de repetiţie a impulsurilor din bobinajul vibratorului magnetostrictiv de la 200 pînă la 1 500 imp/s. Impulsurile aplicate la grilă deblochează pe rînd tiratroanele şi capacitatea de acumulare se descarcă prin tiratron şi prin bobinajul vibratorului magnetostric-

tiv. Deoarece descărcarea capacităţii se face printr-o inductanţă (vibratorul magnetostrictiv), impulsul de curent are o formă sinusoidală.

Cînd generatorul funcţionează cu un vibrator magnetostrictiv НЭЛ-IV, durata optimă a impulsului este de circa 30 μs. Această durată este fixată cu ocazia reglării aparatului. Reglarea brută se face prin variaţia capacităţii de încărcare, iar cea fină — prin variaţia numărului de spire ale vibratorului magnetostrictiv. Durata vibraţiilor libere, cauzate de elasticitatea materialului din care este confecţionat vibratorul, este de 2 ms.

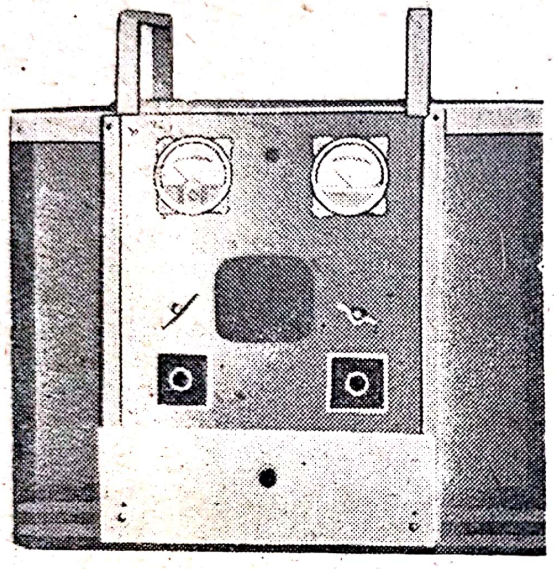


Fig. 5.7. Aspectul exterior al generatorului ТУИГ-2.

Generatorul este montat într-o cutie cu dimensiunile 548×460×200 mm (fig. 5.7). Pe panoul frontal sînt amplasate întreruptoarele pentru tensiunea de reţea şi înalta tensiune, aparatele de măsurat pentru controlul tensiunii reţelei şi tensiunii de filament a tiratroanelor, siguranţele şi butoanele pentru reglarea frecvenţei de repetiţie a impulsurilor. Pe peretele din spate se găsesc bornele de ieşire pentru conectarea vibratoarelor magnetostrictive şi legarea de pămînt a cutiei.

Generatorul de impulsuri ИГРЛ-20 are următoarele date principale: tensiunea redresată $E=4\,000$ V, tensiunea de aprindere a tiratronului $V_a=3\,500$ V, iar tensiunea de stingere $V_s=150$ V; vibratorul magnetostrictiv НЭЛ-IV (în cazul unui bobinaj cu 6 spire pe o coloană) are $Z=35\,\Omega$; timpul de descărcare este $t_d=47{,}5\cdot10^{-6}$s; intensitatea ultrasunetelor în impuls este $I_{imp}=30$ W/cm²; frecvenţa de repetiţie a impulsurilor (maximă) este $n=150$ imp/s. Puterea absorbită de la reţea este $P=2{,}5$ kW.

c) Exemplu de calcul al unui generator de impulsuri în funcţie de condiţiile tehnologice impuse

Să presupunem că într-un anumit proces tehnologic este necesar să se folosească cel puţin 4 vibratoare magnetostrictive. Gama de frecvenţe a vibraţiilor ultrasonore este de 15—30 kHz; intensitatea necesară a ultrasunetelor (în impuls) depăşeşte 20 W/cm². Frecvenţa de repetiţie a impulsurilor este de cel puţin 10 imp/s. La început se alege tipul de vibrator magnetostrictiv pentru o frecvenţă ultrasonoră cuprinsă în gama 15—30 kHz. De exemplu, este indicat să se folosească vibratorul magnetostrictiv НЭЛ—IV, fabricat în serie de industrie. Acesta are următoarele caracteristici: frecvenţa vibraţiilor $f=21$ kHz; impedanţa vibratorului $Z=25\,\Omega$; numărul de spire ale bobinajului 4 pe o coloană. După aceea, se alege tipul de tub întreruptor.

Pentru obţinerea unor ultrasunete intense (în impuls) de peste 20 W/cm² este necesar un tub întreruptor cu tensiune de aprindere înaltă şi cu curent mare. Dintre tuburile întreruptoare fabricate de industrie, cel mai adecvat este tiratronul ТГИ—400/3,5. El are următorii parametri: tensiunea de filament 5 V; curentul de filament 18 A; amplitudinea tensiunii anodice 3,5 kV; curentul anodic în impuls 400 A; valoarea medie a curentului anodic

0,3 A. Căderea de tensiune de la bornele tiratronului, în impuls, este de 150 V; amplitudinea impulsului de aprindere este de 300 V; durata impulsului de aprindere este de 15 μs; rezistența din circuitul de grilă este de 1 000 Ω.

La început se verifică dacă curentul absorbit de vibratorul magnetostrictiv nu depășește curentul anodic, în impuls, al tubului întreruptor ales. Aceasta se face pentru cele patru vibratoare magnetostrictive legate în paralel, cu următoarea formulă:

$$I = \frac{4U}{Z} = 560 \text{ A}.$$

Deoarece valoarea obținută pentru curentul absorbit de vibratoarele magnetostrictive este mai mare decît curentul admisibil al tubului întreruptor, în mod obișnuit trebuie să se mărească impedanța totală a vibratoarelor magnetostrictive (același efect se poate obține prin micșorarea tensiunii anodice maxime), cu scopul de a nu se reduce numărul de vibratoare utilizate. Aceasta se poate realiza mărind numărul de spire ale bobinajului vibratorului magnetostrictiv pînă la 6 spire pe o coloană. Atunci impedanța vibratoarelor magnetostrictive va crește pînă la $Z = 35\,\Omega$.

În funcție de datele tubului întreruptor și vibratoarelor magnetostrictive alese se determină intensitatea maximă a ultrasunetelor (în impuls). Pentru cazul nostru, ea va avea valoarea:

$$I_{imp} = \frac{(V_a^2 - V_s^2)\,\eta}{2\,ZS \ln V_a/V_s} = \frac{(12{,}3 \cdot 10^6 - 0{,}0225 \cdot 10^6)\ 0{,}05}{2 \cdot 35 \cdot 64 \ln \frac{3\,500}{150}} = 43{,}5 \text{ W/cm}^2.$$

Această intensitate satisface condițiile impuse, adică ea depășește 20 W/cm^2.

Pentru calculul frecvenței maxime de repetiție a impulsurilor se folosește formula

$$n = \frac{I_{med}}{t_d \cdot I_{imp}}.$$

Pentru tubul întreruptor ales de noi

$$I_{med} = 0{,}3 \text{ A}; \quad I_{imp} = 400 \text{ A},$$

iar t_d (determinat cu formula $t_d = 1/f$) este egal cu $47{,}5 \cdot 10^{-6}$s; atunci frecvența de repetiție a impulsurilor va fi

$$n = \frac{I_{med}}{t_d \cdot I_{imp}} = \frac{0{,}3}{4{,}5 \cdot 10^{-6} \cdot 400} = 15 \text{ imp/s}.$$

În consecință, impulsurile se vor succede la un interval de timp

$$T = \frac{1}{n} = 67 \cdot 10^{-3} \text{ s}.$$

Pentru calculul capacității se folosește formula

$$C = \frac{t_d}{\frac{Z}{4} \ln \frac{V_a}{V_s}} = 1{,}7\ \mu F.$$

Tensiunea redresată E o alegem ceva mai mare decît valoarea lui V_a.

Pentru cazul nostru E se alege egal cu 4 000 V. În consecință, bobinajele secundare ale transformatorului ridicător de tensiune trebuie să asigure o ridicare a tensiunii pînă la

$$U_{ef} = \frac{4\,000}{1{,}4} = 2\,850 \text{ V}.$$

Scanned with OKEN Scanner

Pentru realizarea redresorului, cele mai convenabile pentru cazul considerat sînt diodele cu germaniu de tip ДГ — Ц24, care posedă dimensiuni mici şi lasă să treacă un curent relativ mare. Se iau 20 asemenea diode şi, dacă le legăm în serie, ele asigură funcţionarea redresorului la o tensiune de 4 000 V.

Pe baza datelor tubului întreruptor şi redresorului, precum şi ţinînd seama de valoarea lui T şi t_d, se determină rezistenţa de încărcare:

$$R_1 = \frac{T - t_d}{C_1 \ln \frac{E - V_s}{E - V_a}} \approx 20\ k\Omega.$$

Cu aceasta se termină calculul părţii de execuţie a schemei generatorului de impulsuri. Calculul părţii de comandă se face în modul următor. Pentru funcţionarea tubului întreruptor ales, impulsul aplicat la grila acestuia trebuie să aibă polaritate pozitivă, o amplitudine de cel puţin 300 V şi o durată de cel puţin $15 \cdot 10^{-6}$s. Pentru asigurarea acestor condiţii, cel mai potrivit este tubul cu descărcări în gaze de tip P—460, care are o tensiune de aprindere $V_a = 460$ V şi o tensiune de stingere $V_s = 100$ V. Pentru funcţionarea tubului de descărcare P—460 se alege o capacitate de încărcare în circuitul de comandă: $C_2 = 0{,}5\ \mu$ F.

Durata impulsului de la grila tiratronului se alege egală cu $20 \cdot 10^{-6}$s (această valoare este mai mare decît cea indicată mai sus pentru durata minimă a impulsului). În acest timp tensiunea de la grila tiratronului trebuie să scadă de la 460 pînă la 300 V. Pornind de la aceste date, rezistenţa de sarcină a tubului de comandă va fi:

$$R_2 = \frac{t_d}{C_2 \ln \frac{V'_a}{V'_s}} \approx 100\ \Omega.$$

Frecvenţa de repetiţie a impulsurilor părţii de comandă a generatorului trebuie să fie identică cu cea de la partea de execuţie, şi anume 15 imp/s; atunci rezistenţa de încărcare a circuitului de comandă va fi:

$$R_3 = \frac{T - t'_d}{C_2 \ln \frac{E - V'_s}{E - V'_a}} \approx 1{,}35 M\Omega.$$

Cu aceasta calculul generatorului se termină. Rămîne numai să se verifice puterea totală P absorbită de el de la reţea. Valoarea acestei puteri este:

$$P = \frac{n\left[C_1 (V_a^2 - V_s^2) + C_2 (V'^2_a - V'^2_s)\right] + 2 I_f U_f}{2 r_{tr}} \approx 310\ \text{W}.$$

5.2. GENERATOARE ELECTRICE ROTATIVE

Pentru transformarea curentului continuu sau a curentului alternativ de frecvenţă industrială în curent alternativ de frecvenţa respectivă ridicată, în unele cazuri încep să se folosească diferite tipuri de generatoare electrice rotative (convertizoare rotative).

Aceste generatoare electrice rotative sînt folosite în industrie pentru obţinerea unor frecvenţe cuprinse între limitele 10^3—10^5 Hz, la puteri pînă la 150 kW.

Scanned with OKEN Scanner

Frecvenţa curentului electric produs de un generator electric rotativ este determinată de expresia

$$f = \frac{mn}{60},$$

în care: f este frecvenţa, Hz;
m — numărul de poli;
n — numărul de rotaţii ale rotorului pe minut.

Este cel mai raţional ca generatoarele rotative de frecvenţă ultrasonoră să fie utilizate în gama frecvenţelor ultrasonore joase, cuprinse între 100 Hz şi 30 kHz.

Convertizoarele rotative sînt alcătuite dintr-un motor electric de curent alternativ de frecvenţă industrială şi un generator de curent alternativ de frecvenţă ridicată, montate pe un ax comun. Convertizoarele rotative au o serie întreagă de avantaje faţă de generatoarele electronice (randament mai mare, siguranţă în funcţionare, simplitate în ce priveşte deservirea) şi au perspective de dezvoltare. Pînă în ultimul timp, însă, ele au fost folosite pe o scară nejustificat de redusă pentru alimentarea vibratoarelor electromecanice şi sînt fabricate de industria sovietică într-un sortiment insuficient.

TABELA 5.1

Tipul generatorului	Puterea, kW	Tensiunea nominală, V	Frecvenţa, Hz	Tensiunea de excitaţie, V	Dimensiuni		Greutatea, kg
					Diametrul, cm	Lungimea, cm	
0— 10	10	220	10 000	110/220	82	200	600
0—150	150	1 500	2 000	110/220	110	296	2 500
ОСП-2—2	2	220	220	12	52	105	140
ОСП-2—3	3	220	300	12	52	105	125
ОСП-2	2	220	300	12	52	107	110
ОВ-1,75	1,75	125×2	1 000	110	63	32	110
ОВ-2,5	2,5	125×2	1 000	110	80	44	210
ОВ-15	15	125×2	1 000	110	105	60	660
ОП-0,2	0,2	25	1 000	—	32	20	30
ОП-1	1	120×2	1 000	—	58	40	150
ОП-2	2	120×2	1 750	—	90	43	170
С-572	1,2	36	200	—	37	25	41

În tabela 5.1 sînt prezentate datele cîtorva tipuri de generatoare electrice rotative fabricate de industria sovietică.

Convertizoarele rotative de curent alternativ de frecvenţă ridicată destinate alimentării vibratoarelor electromagnetice, electrodinamice şi magnetostrictive sînt construite de obicei pe baza generatoarelor sincrone. La generatoarele sincrone monofazate cele mai simple, polii magnetici sînt imobili, iar bobinajul rotoric se învîrteşte. Pentru generatoarele suficient de puternice este însă mai indicat ca bobinajul în care se induce forţa electromotoare să fie imobil, iar inductorul să se rotească. Inductorul poate avea polii magnetici aparenţi sau înecaţi. În cazul unei turaţii mari, generatoarele se construiesc de regulă cu poli înecaţi, creaţi de un bobinaj corespunzător pe rotor.

Scanned with OKEN Scanner

Conform datelor lui R. P. Jijerin, generatoarele sincronice moderne se împart, în ce priveşte procedeul de excitaţie, în două grupe: cu autoexcitaţie şi cu excitaţie independentă. Aceasta din urmă se obţine prin alimentarea circuitului de excitaţie de la o sursă autonomă de curent continuu.

La generatoarele sincrone autoexcitaţia se realizează în prezent prin două procedee principale: folosind redresoare cu semiconductoare sau magneţi permanenţi. În numeroase cazuri, îndeosebi la generatoarele de mare putere, se foloseşte o maşină excitatoare separată, care este o maşină de curent continuu suplimentară, montată pe acelaşi arbore cu rotorul generatorului.

Pentru generarea curentului alternativ de frecvenţă ridicată se folosesc două tipuri de generatoare: cu poli alternaţi (eteropolare) şi cu inductori.

În ce priveşte construcţia, generatoarele cu poli alternaţi sînt asemănătoare cu maşinile sincrone normale. Particularităţile generatoarelor de frecvenţă ridicată sînt viteza periferică relativ mare şi valoarea mică a diviziunii polare.

Vitezele periferice mari care se obţin produc tensiuni mecanice apreciabile în rotor, care limitează diametrul acestuia. În mod obişnuit, viteza periferică este limitată la cel mult 150 m/s. La viteze periferice mai mari, rotorul generatorului se confecţionează sub forma unui disc de rezistenţă egală, se foloseşte un arbore flexibil şi se efectuează ungerea sub presiune a lagărelor.

Valoarea diviziunii polare se determină cu formula $\tau = 50\ V/f$. De exemplu, pentru $f = 2$ kHz şi $V = 150$ m/s, vom obţine $\tau = 3{,}75$ cm. O valoare atît de mică a diviziunii polare obligă să se aleagă un rotor cu poli înecaţi şi un întrefier mic între rotor şi stator, deoarece în cazul unor întrefieruri mari creşte fluxul de scăpări al bobinajului statoric, care se închide printr-o crestătură şi un dinte al rotorului. Pe de altă parte, este greu să se realizeze din punct de vedere tehnic un întrefier mic, din cauza imperfecţiunii lagărelor şi a variaţiilor diametrului rotorului cînd acesta se încălzeşte sau se răceşte.

Cu toate dificultăţile tehnice menţionate mai sus, generatoarele descrise îşi găsesc aplicaţii.

Un avantaj al generatoarelor de tipul cu poli alternaţi este gama largă de variaţie a fluxului magnetic al rotorului, determinat de o spiră a bobinajului statorului. Deoarece fluxul magnetic variază de la $+\Phi_{max}$ pînă la $-\Phi_{max}$, variaţia totală a fluxului este $2\ \Phi_{max}$. Prin aceasta se asigură posibilitatea obţinerii unei valori apreciabile a forţei electromotoare pentru o spiră şi deci micşorarea numărului total de spire ale bobinajului statoric.

Generatoarele de curent de frecvenţă ridicată, de tipul cu inductor, se disting prin faptul că forţa electromotoare nu este indusă în bobinaj din cauza variaţiei periodice a reluctanţei magnetice a unei părţi oarecare a circuitului magnetic al maşinii.

Sînt posibile două tipuri de generatoare cu inductor: a) generatoare de tipul cu inductor, cu poli alternaţi şi cu un cîmp magnetic care se închide într-un plan perpendicular pe planul arborelui; b) generatoare de tipul cu inductor, cu poli ficşi, şi cu cîmp magnetic care se închide în planul arborelui.

Scanned with OKEN Scanner

Generatoarele cu poli alternaţi, de tipul cu inductor, au circuite magnetice dinţate. Bobinajul de lucru şi bobinajul de excitaţie sînt aşezate pe stator, bobinele ambelor bobinaje cuprinzînd un singur dinte. În timpul învîrtirii rotorului, fluxul magnetic pulsează între limitele Φ_{max} şi Φ_{min}. Valoarea Φ_{max} corespunde poziţiei cînd rotorul şi statorul sînt aşezate faţă în faţă. Acelei poziţii a rotorului, pentru care în dreptul unei crestături a lui se găseşte un dinte al statorului, îi corespunde fluxul magnetic Φ_{min}. Fluxul magnetic total conţine două componente: una continuă şi una variabilă. Componenta continuă a fluxului magnetic va fi $\Phi_0 = \frac{\Phi_{max} + \Phi_{min}}{2}$, iar componenta variabilă a fluxului va avea valoarea $\Phi = \frac{\Phi_{max} - \Phi_{min}}{2}$.

Din cele arătate mai sus rezultă că frecvenţa componentei variabile a fluxului magnetic este determinată de numărul de dinţi ai statorului şi rotorului. Forţa electromotoare care se induce în acest caz în bobinajul generatorului va varia cu frecvenţa $f = Zn/60$ [Hz], unde Z este numărul de dinţi ai rotorului.

Din punct de vedere constructiv este dificil să se aşeze două bobinaje pe fiecare dinte al statorului. De aceea, se construiesc generatoare la care bobinajele cuprind un grup de dinţi. În acest caz pulsaţiile fluxului magnetic vor avea aceeaşi frecvenţă, ca şi la tipurile precedente de maşini.

La generatoarele de tipul cu inductor şi cu închidere a fluxului magnetic în planul arborelui, statorul şi rotorul se confecţionează sub formă jumelată. Fiecare parte a statorului posedă bobinajul ei propriu, cuplat numai cu fluxul magnetic de o singură polaritate. Aceasta permite existenţa unei singure bobine comune de excitaţie, aşezată între cele două părţi ale statorului. Inducerea forţei electromotoare se produce, ca şi la generatoarele descrise mai sus, datorită pulsaţiilor fluxului magnetic.

Generatoarele de tipul cu inductor, cu poli ficşi, posedă o serie de avantaje faţă de alte tipuri de generatoare cu destinaţie similară. La acestea diviziunea polară poate fi mărită datorită amplasării, pe fiecare parte a statorului, numai a polilor de o singură polaritate. În acest caz, pulsaţiile fluxului au loc numai în dinţii statorului şi într-o parte mică din dinţii rotorului, ceea ce duce la scăderea pierderilor din circuitul magnetic al maşinii. Pulsaţiile fluxului magnetic se produc din cauza redistribuirii fluxului magnetic între dinţii statorului, iar fluxul magnetic al rotorului rămîne aproape neschimbat, ceea ce permite ca rotorul să fie făcut dintr-o masă compactă.

În ultimul timp, au fost realizate tipuri de maşini ferodinamice reflexe. Aceste maşini nu au nici un bobinaj pe rotor şi permit să se obţină o frecvenţă de 2, 3 ori mai înaltă decît în cazul maşini de tipul cu inductor. La aceste maşini, bobinajul principal şi cele auxiliare sînt amplasate numai pe stator. Prin unul dintre bobinajele auxiliare, care este bobinajul de comandă, circulă curent continuu, iar celelalte bobinaje, care se închid prin condensatoare, joacă rolul unor bobinaje de excitaţie; în bobinajul principal se induce curentul de lucru, de înaltă frecvenţă.

Scanned with OKEN Scanner

Avantajul noilor maşini constă în faptul că zona lor cu dinţi poate fi de tip pieptene, fiecare buclă a bobinajului cuprinzînd mai mulţi dinţi. Numărul de crestături active este mic în acest caz, iar dimensiunile lor pot fi oarecare.

În cazurile cînd este necesară o reglare fină a frecvenţei curentului între limitele 1—200 Hz, se folosesc convertizoare de frecvenţă magnetice. Convertizoarele de frecvenţă magnetice pot fi de două tipuri: cu colector şi fără colector.

În cazul cel mai simplu, maşina cu colector a convertizorului de frecvenţă poate fi reprezentată ca o maşină de curent continuu cu rotor inelar, la care rotorul este învîrtit de un motor auxiliar avînd turaţia n. Tensiunea de la periile maşinii va varia în funcţie de poziţia periilor. Rotind periile maşinii cu turaţia n_2 se poate obţine la periile convertizorului o tensiune de frecvenţa $f_2 = 60\ n_2/P$, unde P este numărul de perechi de poli ai convertizorului.

Se obţin maşini mult mai simple dacă se rotesc polii sistemului magnetic cu aceeaşi turaţie. Amplitudinea tensiunii generatorului va fi proporţională cu numărul $n_1 \pm n_2$ (semnul minus se referă la cazul rotirii magneţilor şi rotorului în acelaşi sens).

Convertizoarele de frecvenţă fără colector au următoarea construcţie. Statorul unui motor sincron este alimentat de la o reţea cu frecvenţa de 50 Hz, iar rotorul motorului este învîrtit de un motor auxiliar. De la inelele rotorului se ia tensiunea de frecvenţă schimbată, egală cu:

$$f_2 = \frac{(n_c \pm n)P}{60} = f_1 c,$$

unde n_c — este turaţia de sincronism, determinată de frecvenţa curentului de reţea;

n — turaţia rotorului;

c — alunecarea, egală cu $\frac{n_c - n}{n_c}$.

Procedeul de schimbare a frecvenţei descris mai sus prezintă dezavantajul că necesită un motor auxiliar. În plus, o asemenea schimbare este legată de aparaţia unor pierderi mărite în corvertizor şi de scăderea puterii motorului sincron. Mai raţională este utilizarea unei maşini la care rotirea polilor magnetului este înlocuită de un cîmp magnetic învîrtitor. În acest caz rotorul maşinii este construit la fel ca acel al maşinilor de curent continuu cu colector. Punctele egal depărtate ale bobinajului sînt conectate la nişte inele de contact. Numărul de inele de contact şi de perii de pe colector este egal, în mod corespunzător, cu numărul de faze ale curentului alternativ. În partea unde se găsesc inelele de contact, convertizorul este legat — prin intermediul unui transformator — la o reţea de curent alternativ cu frecvenţa f_1. Variind coeficientul de transformare, se poate regla amplitudinea tensiunii de ieşire a convertizorului, preluată de la periile colectoarelor. Frecvenţa tensiunii va fi $f_2 = \frac{(n_c \pm n)P}{60}$, unde n este turaţia rotorului convertizorului.

Scanned with OKEN Scanner

Ca exemplu vom descrie convertizorul C-572, care serveşte la transformarea curentului alternativ trifazat de frecvenţă normală, la o tensiune de 380/220 V, într-un curent trifazat alternativ de frecvenţa mărită 200 Hz, la o tensiune de 36 V. El este un convertizor de frecvenţă sincron, cu o singură maşină, bazat pe utilizarea unei armonice superioare care se separă în cîmpul magnetic al maşinii prin alegerea unei configuraţii corespunzătoare a rotorului şi a lungimii întrefierului de aer. Avantajul acestor convertizoare de frecvenţă, în comparaţie cu alte tipuri de convertizoare, constă în simplitatea construcţiei şi în absenţa unor contacte alunecătoare, ceea ce simplifică considerabil exploatarea. Rotorul unui asemenea convertizor este asemănător cu rotorul unui motor asincron în scurtcircuit, cu deosebirea că el este construit dintr-un material magnetic şi unul nemagnetic. În talpa rotorului este aşezat un bobinaj de pornire, compus din bare de cupru şi inele de cupru în scurtcircuit.

În crestăturile statorului sînt aşezate două bobinaje: un bobinaj primar pentru conectarea la reţea şi unul secundar pentru obţinerea frecvenţei ridicate. Bobinajul primar este făcut cu 2 poli, iar cel secundar — cu 8 poli.

În cazul conectării bobinajului primar al statorului la o reţea de curent alternativ, ia naştere un cuplu de rotaţie asincron, rotorul începe să se învîrtească şi de la viteza de subsincronism este atras la sincronism datorită existenţei unui cuplu reactiv. În regim de sarcină, rotorul convertizorului reactiv se învîrteşte în sincronism cu cîmpul magnetic, iar frecvenţa ridicată a curentului alternativ rămîne riguros constantă.

CAPITOLUL 6

TRADUCTOARE AERODINAMICE, HIDRODINAMICE ŞI CU EXCENTRIC

6.1. TRADUCTOARE AERODINAMICE

a) Generalităţi

Principiul de funcţionare a traductoarelor aerodinamice (cu jet de gaze) constă în faptul că într-un curent de aer se formează o structură periodică a repartizării presiunii, dacă dintr-un ajutaj se suflă un jet de aer cu o viteză mai mare decît viteza sunetului.

Măsurînd presiunea din jetul de aer, la diferite distanţe de orificiul ajutajului, se poate constata că structura periodică a repartizării presiunii poate avea intervale determinate, corespunzătoare creşterilor de presiune. Ele reprezintă punctele unui jet instabil şi oferă posibilitatea producerii unor unde sonore, dacă în aceste puncte de instabilitate se amplasează un rezonator. Frecvenţa pulsaţiilor aerului, şi în acelaşi timp şi frecvenţa undelor sonore, depinde de dimensiunile rezonatorului. Dacă se admite că adîncimea

Scanned with OKEN Scanner

rezonatorul este l, iar diametrul ajutajului este d, cu o oarecare aproximaţie lungimea de undă λ va avea valoarea $\lambda = 4\ (l + 0{,}3\ d)$.

Dacă, de pildă, $l = d = 1$ mm, rezultă $\lambda = 5{,}2$ mm.

Cu ajutorul traductoarelor aerodinamice moderne se pot obţine în aer vibraţii sonore a căror frecvenţă ajunge pînă la 120 kHz. Dacă prin instalaţia descrisă va circula hidrogen în loc de aer (viteza sunetului în hidrogen este de patru ori mai mare decît viteza sunetului în aer), cu traductorul considerat se pot obţine vibraţii ultrasonore avînd frecvenţa pînă la 500 kHz.

Traductoarele aerodinamice se folosesc îndeosebi pentru funcţionarea într-un mediu gazos. Folosind dispozitive suplimentare speciale, aceste traductoare pot fi adaptate şi pentru funcţionarea cu lichide. În acest caz, însă, au loc pierderi mari de putere acustică şi se micşorează apreciabil randamentul instalaţiei.

Dintre avantajele traductoarelor aerodinamice trebuie să se menţioneze posibilitatea folosirii lor în cadrul lucrărilor cu volume mari; obţinerea unor puteri relativ mari de radiaţie acustică; investiţii relativ mici la fabricarea aparatajului şi dimensiuni de gabarit reduse.

Caracterul limitat al domeniului de aplicaţii ale traductoarelor aerodinamice (utilizate îndeosebi în mediile gazoase) constituie una dintre deficienţele traductoarelor de acest tip.

Traductoarele cu jet de gaz au ca dezavantaj şi faptul că, la acestea, cîmpul sonor se găseşte suprapus peste curentul de gaz. În cazul utilizării practice, de multe ori este de dorit să se separe cîmpul sonor de curentul de gaz. Aceasta se poate realiza dacă, cu ajutorul presiunilor periodice care apar în rezonatorul traductorului cu jet de gaz, se creează un sistem mecanic de vibraţie, avînd aceeaşi frecvenţă proprie. În acest caz, sunetul se separă de curentul de gaz şi el poate fi transmis comod în orice mediu supus prelucrării. Un vibrator de acest fel se compune dintr-o membrană rotundă, care constituie fundul unui rezonator şi a cărei frecvenţă proprie coincide cu frecvenţa sunetului.

Dacă spaţiul de deasupra membranei este umplut cu apă, deasupra membranei intensitatea sunetului va fi de circa 1 W/cm^2. Amplitudinea presiunii, în faţa membranei care vibrează, este de aproximativ 2,5 at. În prezent, în industrie şi-au găsit aplicaţii două tipuri de traductoare aerodinamice: sirenele cu rotor (sirenele dinamice) şi sirenele cu jet de gaz (sirenele statice).

b) Sirene dinamice

Principiul de funcţionare al sirenelor dinamice se bazează pe întreruperea de către orificiile unui rotor care se învîrteşte, a curentului de aer comprimat care trece prin orificiile unui stator. Aşadar, dispozitivul care întrerupe jetul de aer este un orificiu al rotorului, care trece direct pe deasupra unui orificiu al statorului. În felul acesta jetul de aer întîlneşte în calea lui o rezistenţă variabilă. Variaţiile acestei rezistenţe se produc în gama cuprinsă între valoarea minimă, cînd orificiul este complet deschis, şi valoarea maximă, cînd

Scanned with OKEN Scanner

orificiul este închis şi cînd se întrerupe curgerea aerului. Toate acestea duc la o rarefiere şi o comprimare periodică a aerului şi la formarea unor vibraţii elastice.

Frecvenţa vibraţiilor generate de o sirenă dinamică se calculează cu formula

$$f = \frac{mn}{60},$$

în care: m este numărul de orificii din stator (sau, ceea ce este acelaşi lucru, numărul intervalelor dintre orificiile rotorului);
n — turaţia rotorului sirenei.

Există două feluri de sirene dinamice; axiale şi radiale. La primul tip de sirene, orificiile sînt amplasate axial şi sunetul este dirijat direct în camera de iradiere. La al doilea tip, orificiile sînt aşezate radial şi sunetul este dirijat spre camera de iradiere cu ajutorul unui reflector special.

Pentru volumurile mici supuse prelucrării se folosesc mai frecvent sirene de tip axial, care permit să se micşoreze dimensiunile instalaţiei.

La sirenele dinamice, rotorul se învîrteşte cu turaţia mare şi este supus unor tensiuni mecanice considerabile. Pentru micşorarea masei rotorului, acesta este confecţionat din aliaje uşoare de mare rezistenţă. Profilul rotorului este ales în aşa fel, încît să aibă forma dată de curba

$$y = Ae^{-bx^2},$$

unde y este grosimea rotorului;
x — raza acestuia.

O asemenea formă a rotorului permite obţinerea unei tensiuni mecanice uniforme pe întreaga lui lungime şi, în felul acesta, mărirea turaţiei lui. În prezent, la numeroase construcţii de sirene, turaţia rotorului atinge 20 000 rot/min.

În cazul ideal, pentru obţinerea curentului de aer întrerupt periodic, care pleacă de la sirenă, rotorul trebuie să fie aşezat etanş pe discul statorului şi, în felul acesta, să acopere complet orificiile statorului. În practică, însă, pentru învîrtirea liberă a rotorului în raport cu statorul este necesar să se asigure între acestea un spaţiu minim oarecare; de aceea, nu este posibilă o acoperire completă a orificiilor statorului. Randamentul sirenei va fi cu atît mai mare, cu cît sînt mai mici scurgerile de aer în momentul acoperirii orificiilor. În mod obişnuit, mărirea randamentului unei sirene se obţine prin micşorarea interstiţiului axial dintre rotor şi stator şi, pe de altă parte, realizînd diametre diferite pentru orificiile din rotor şi stator. Totodată, este de dorit ca orificiile din discul care vine în contact cu gazul iradiat cu sunete să aibă dimensiuni mari.

La alegerea diametrului orificiilor este necesar să se ţină seama de următoarele considerente. Timpul în decursul căruia orificiul este deschis va fi egal cu timpul de închidere a lui, în cazul cînd diametrul orificiului reprezintă jumătate din distanţa dintre centrele orificiilor adiacente. În acest caz, în mediul iradiat cu sunete va avea loc o succesiune regulată, în timp, a impulsurilor

de comprimare şi de rarefiere. Notînd cu D diametrul cercului pe care sînt aşezate orificiile, cu q numărul de orificii şi cu d_{or} diametrul lor, vom găsi că pentru îndeplinirea condiţiei date, diametrul orificiilor trebuie să fie:

$$d_{or} = \frac{\pi D}{2q}.$$

Pentru determinarea datelor aerodinamice ale sirenei, s-a stabilit relaţia dintre rezistenţa opusă de ea curentului de aer şi debitul Q de aer aplicat ei, pentru diferite frecvenţe f ale vibraţiilor sonore generale.

Pe cale experimentală s-a găsit că între rezistenţa aerodinamică R [mm·col·Hg] a sirenei şi debitul Q [mm³/h] aplicat ei există o relaţie exprimată prin funcţia:

$$R = aQ^b.$$

TABELA 6.1

f,kHz	a	b
1,5	0,013	1,8
3,0	0,023	1,7
3,75	0,022	1,8
4,5	0,020	1,8
7,2	0,016	1,8

Valoarea parametrilor a şi b care intervin în formulă se poate găsi din tabela 6.1.

În mod obişnuit, presiunea aerului comprimat aplicat sirenei are o valoare cuprinsă între 0,2 şi 4 at. Creşterea presiunii măreşte puterea sonoră radiată de sirenă, dar măreşte şi sarcina motorului electric. Puterea acustică radiată de o sirenă poate fi determinată din expresia (dată de Karnovski)

$$P_a = 0{,}57 \cdot 10^{-8} A_p^2 (x_1)^2 \cdot S^2 f^2 + 105 \cdot 10^{-6} (a_n')^2 F_m^2 f^2,$$

în care: A_p este productivitatea (intensitatea) sursei de aer, în l (depinde de debitul de gaz);

a_n' — coeficientul seriei Fourier pentru armonica corespunzătoare;

f — frecvenţa;

S — aria globală a orificiilor discului;

x_n — viteza gazului în orificiile de evacuare.

Cel de-al doilea termen al egalităţii defineşte formarea armonicelor şi, pentru simplitatea calculelor, poate fi neglijat.

Conform datelor obţinute de Ghinţvetmet, puterea acustică totală $N_{[w]}$ a sirenei este legată printr-o relaţie exponenţială de cantitatea Q [Nm³/h] de aer aplicată ei: $N = l^{aQ+b}$, unde valorile parametrilor a şi b, care intervin în formulă, sînt determinaţi din tabela 6.2.

TABELA 6.2

f,kHz	a	b
1,5	4,37	2,22
3,0	4,37	2,23
4,5	5,52	2,22
7,2	5,75	2,20

Prin urmare, puterea sirenei este legată printr-o lege patratică de frecvenţă, de aria secţiunii orificiilor rotorului şi statorului, de cantitatea de aer şi de viteza de curgere a aerului prin orificii.

Peste 90% din undele sonore (care se formează ca rezultat al întreruperii jetului de aer care iese din stator) se pro-

pagă sub forma unui fascicul divergent cu un unghi de deschidere de $\pm 40°$ în raport cu axa sirenei.

Acest flux de unde sonore este canalizat în nişte dispozitive speciale (pîlnii) care constituie unul dintre principalele elemente ale sirenelor. Pîlniile sînt de formă conică, exponenţială, hiperbolică etc. De cele mai dese ori se folosesc pîlnii exponenţiale.

Utilizarea unei pîlnii exponenţiale (pentru sirenele de tip axial) măreşte puterea radiată a sirenei aproximativ cu 10%. Intensitatea maximă obţinută de la sirenele dinamice atinge 5—8 W/cm^2, iar frecvenţa maximă a vibraţiilor ajunge pînă la 200 kHz; randamentul este de 50—60%. Mai jos se expun principiile pe care se bazează calculul acustic al unei sirene dinamice.

Din punct de vedere matematic, calculul sirenei, cu alte cuvinte calculul intesităţii sunetului, al puterii acustice, al randamentului sirenei şi al debitului de aer, este complicat, deoarece este legat de o serie întreagă de relaţii neliniare.

Necesitatea de a rezolva probleme tehnice, îndeosebi la construirea şi exploatarea sirenelor, impune însă efectuarea chiar a unor calcule tehnice aproximative care să ofere posibilitatea determinării orientative a mărimilor ce caracterizează sirena, în particular puterea acustică şi debitul de aer, necesare pentru alegerea compresorului corespunzător. Din această cauză este indicat să se expună principiile fundamentale de calcul acustic aproximativ al sirenelor, pornindu-se de la caracterul liniar al relaţiilor.

Calculul unui sistem acustic poate fi redus la calculul unui sistem electric, diversele elemente ale sistemului acustic fiind transformate în elementele corespunzătoare ale unui sistem electric. Această metodă a analogiilor electroacustice este folosită pentru calculul sirenelor. În acest caz, se ia drept bază sistemul de analogii arătat mai jos:

Sistemul acustic	Sistemul electric
Debitul de aer S_i	Intensitatea i a curentului
Presiunea excedentară p	Tensiunea E
Impedanţa $Z = p/S_i$	Impedanţa $Z = E/i$
Măsa acustică m_a	Inductanţa L
Susceptibilitatea C_a	Capacitatea C

Construind pentru sirenă un circuit electric analog, se calculează debitul de aer ca fiind intensitatea curentului în acest circuit, puterea acustică — la fel ca puterea termică ce apare într-o rezistenţă judicios aleasă, prin care circulă curent, iar randamentul — ca raportul dintre această putere şi întreaga putere a „elementului" a cărui tensiune constituie presiunea excedentară a aerului.

Toate mărimile care intervin în formule vor fi erpximate în kilograme, metri, secunde, iar mărimile electrice — în amperi, ohmi, volţi, henri, farazi. Metodica de calcul este descrisă mai jos.

Se determină parametrii sirenei, alegîndu-se în prealabil tipul ei şi dimensiunile pîlniei.

Scanned with OKEN Scanner

Se calculează apoi rezistenţa electrică şi inductanţa, legate în paralel, care sînt echivalente cu intrarea pîlniei. În acest caz:

a) pentru pîlnia conică

$$R = \frac{\rho_0 C}{S_0} \ [\Omega] \ ; \qquad L = \frac{\rho_0 x_0}{S_0} \ [\text{H}]$$

unde ρ_0 este densitatea aerului, kg/m^3;
C — viteza sunetului în aer, m/s;
S_0 — aria intrării pîlniei, m^2;

$$x_0 = \frac{d_0 l}{d_l - d_0},$$

unde d_0 este diametrul intrării pîlniei, m;
d_l — diametrul ieşirii pîlniei, m;
l — lungimea pîlniei, m;

b) pentru pîlnia exponenţială

$$R = \frac{\rho_0 C}{S_0} \left(1 - \frac{f_0^2}{f^2}\right)^{-\frac{1}{2}} \ [\Omega] \ ;$$

$$L = \frac{\rho_0 C}{2\pi f_0 S_0} \ [\text{H}],$$

unde f este frecvenţa de lucru a sirenei, Hz;
f_0 — frecvenţă limită, Hz, adică acea frecvenţă sub care pîlnia nu va mai radia sunete;

$$f_0 = \frac{C}{2\pi x_0} \ [\text{Hz}],$$

unde x_0 este porţiunea de pe axa pîlniei între două diametre, dintre care unul este mai mare de e ori decît celălalt ($d = ed_0$),

$$x_0 = \frac{l}{\ln \frac{d_l}{d_0}}.$$

Se calculează după aceea rezistenţa H şi inductanţa M (legate în paralel) echivalente unui orificiu al statorului sirenei, care face legătura între rezervorul cu aer comprimat şi orificiile rotorului.

Pentru sirenele de joasă frecvenţă

$$H = \frac{\rho_0 C k^2 a^2}{2 S_0} \ [\Omega] \ ;$$

$$M = \frac{8 a \rho_0}{3\pi S_0} \ [\text{H}].$$

Pentru sirenele de înaltă frecvenţă

$$H = \frac{\rho_0 C}{S_0} \ [\Omega] \ .$$

Drept criteriu pentru folosirea acestor formule servesc relaţiile:

$ka < 0{,}5$ pentru sirenele de joasă frecvenţă;

$ka > 20$ pentru sirenele de înaltă frecvenţă, unde:

$$k = \frac{2\pi f}{C} \quad [\text{m}^{-1}];$$

a — raza unui orificiu al statorului, m.

Pentru cazurile cînd

$$0{,}5 < ka < 20,$$

$$H = \frac{\theta \rho_0 C}{S_0} \quad [\Omega];$$

$$M = \frac{\chi \rho_0 C}{S_0 2\pi f} \quad [\text{H}],$$

unde θ este rezistenţa relativă;

x — reactanţa relativă.

Funcţiile θ şi χ se găsesc în tabelele corespunzătoare.

Menţionăm că în cazul cînd orificiile din stator sînt de formă conică sau exponenţială, mărimea ka este determinată de diametrul mediu al orificiului.

Pentru determinarea puterii, randamentului şi debitului de aer al sirenei se construieşte schema electrică cu elementele calculate. În acest caz rezistenţa variabilă G se determină din următoarele consideraţii: schema acustică a sirenei include orificiul statorului (considerat în sens invers circulaţiei aerului, adică de la intrarea pîlniei spre interiorul rezervorului cu aer), dispozitivul care întrerupe jetul de aer şi intrarea pîlniei. Elementul de închidere este un orificiu al rotorului, care se deplasează prin dreptul unui orificiu al statorului. După cum s-a arătat mai sus, deschiderea şi închiderea periodică a acestui orificiu face ca în calea jetului de aer să apară rezistenţa adiţională g, care variază de la zero pînă la infinit.

Analogul electric al rezistenţei acustice g este tocmai rezistenţa variabilă G.

Aplicînd acestui circuit legile lui Kirchhoff şi admiţînd că frecvenţa cu care variază rezistenţa G este egală cu frecvenţa de lucru a sirenei, după o serie de transformări vom obţine expresia amplitudinii curentului din reţea:

$$I = \frac{E}{R\mu} F(y) \quad [\text{A}],$$

unde R este rezistenţa gîtului pîlniei, Ω;

E — tensiunea din circuit, V, care numeric are valoarea;

$$E = (0{,}55 \ldots 0{,}9)\ p \cdot 10^7 \quad [\text{V}].$$

În această expresie p este presiunea din rezervorul sirenei, kgf/cm^2; coeficienţii 0,55 . . . 0,9 sînt introduşi pentru a se ţine seama de influenţa pierderilor aerodinamice pe traseul de la rezervor pînă la orificiile statorului.

În cazul cînd în statorul sirenei există multe orificii, valoarea obţinută pentru E trebuie multiplicată cu nS_t/S_0, unde S_t este aria unui orificiu din stator, m^2; S_0 — aria gîtului pîlniei, m^2; n — numărul de orificii.

Deoarece

$$F(y) = \frac{(1+2y)^{1/2}-1}{y};$$

$$y = \frac{(1+\chi)^2}{\mu^2} \cdot \frac{\rho_0 E}{S_0^2 R^2};$$

$$\chi = \left(1+\frac{1}{Q^2}\right)^{1/2};$$

$$\mu = 1 + Q_3 \frac{Q_3 + \frac{1}{Q_1}}{1+Q_2^2};$$

$$Q_1 = \frac{\omega L}{R}; \quad Q_2 = \frac{\omega M}{H}; \quad Q_3 = \frac{\omega M}{R};$$

parametrii sirenei, care ne interesează, adică debitul de aer, puterea, intensitatea sunetului în gîtul pîlniei, randamentul, se determină ca fiind parametrii schemei electrice echivalente. Debitul de aer este

$$V = I,$$

unde I este exprimat în amperi;

V — în m^3/s (pentru a se trece la m^3/h este necesar ca rezultatul obţinut să fie multiplicat cu 3 600).

Puterea acustică a sirenei are valoarea:

$$N = \frac{1}{2} I^2 R \ [W].$$

Intensitatea sunetului este

$$\gamma = \frac{N}{S_0} \ [W/m^2];$$

iar randamentul

$$\eta = \frac{I^2 R}{2EI_0} = \frac{F(y)}{2\chi\mu}.$$

c) Sirene statice

Principiul de funcţionare al sirenelor statice se bazează pe faptul că atunci cînd printr-un ajutaj conic se trimite un curent de aer cu o viteză care depăşeşte viteza de propagare a sunetului (în cazul unei presiuni excedentare care depăşeşte 0,9 at), în curentul de aer din faţa ajutajului se creează o distribuţie periodică a presiunii, cu porţiuni de instabilitate. Amplasînd în

aceste porţiuni nişte rezonatoare, se realizează emiterea unor unde sonore în spaţiul care înconjoară rezonatorul.

Sirena statică (fig. 6.1) se compune din tubul *1* pentru alimentarea cu aer de la compresor, pîlnia exponenţială *2* cu partea centrală *3* care are forma unei exponenţiale, bucşa *4* care fixează poziţia fluierului, rezonatorul *5*, ajutajul *6* şi camerele rezonatorului secundar *7*. Sirena funcţionează în modul următor: aerul de la compresor este trimis, printr-un sistem de conducte, în ajutajul cu rezonator, amplasat în camera rezonatorului secundar, care se găseşte în centrul pîlniei.

Undele sonore produse de sistemul ajutaj-rezonator sînt întreţinute şi amplificate în camera rezonatorului secundar şi ajung apoi la pîlnia exponenţială. La majoritatea tipurilor de sirene statice se folosesc patru sau chiar un număr mai mare de sisteme ajutaj-rezonator. La unele tipuri de sirene statice s-a prevăzut posibilitatea reglării dimensiunilor camerei rezonatorului secundar; ca urmare, alegînd condiţiile optime, se poate mări puterea radiată şi randamentul sirenelor statice. La sirenele statice se prevede posibilitatea schimbării şi reglării ajutajelor şi rezonatoarelor în timpul funcţionării din exterior, fără a fi necesară demontarea sirenei.

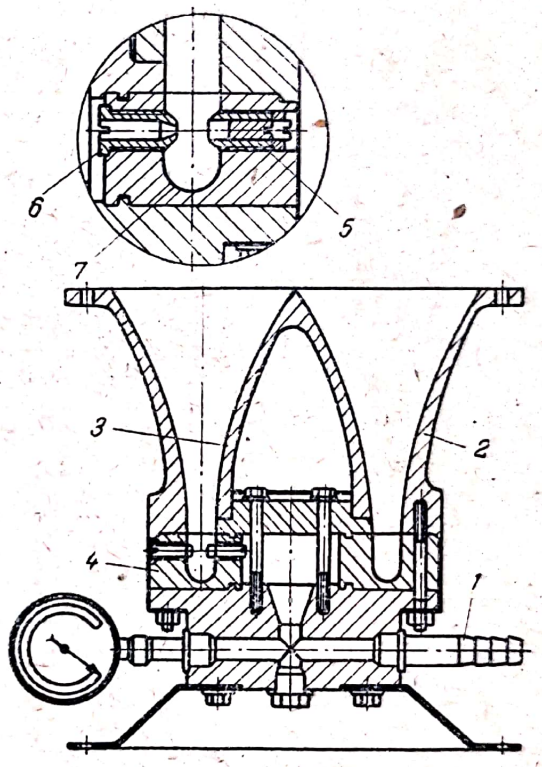


Fig. 6.1. Sirenă statică cu ultrasunete.

Sirenele statice oferă posibilitatea producerii unor spectre acustice de radiaţie complexe, obţinute prin variaţia debitului de aer de alimentare sau prin variaţia distanţei dintre ajutaje şi rezonatoare. Un rezultat analog se obţine montînd în sirenă ajutaje şi rezonatoare de diverse tipuri. Ca exemplu, în tabela 6.3 sînt prezentate datele referitoare la variaţia frecvenţei ultrasunetelor obţinute de la o sirenă statică, în cazul unor debite de aer diferite.

Sirenele statice nu au piese rotitoare, exploatarea lor este suficient de simplă, ele permit obţinerea unor intensităţi mari ale sunetelor radiate într-o gamă largă de frecvenţe şi oferă posibilitatea obţinerii unui spectru de radiaţie complex. Randamentul sirenelor statice este apropiat de randamentul sirenelor dinamice. La calculul sirenelor statice se foloseşte de asemenea metoda analogiilor electroacustice.

TABELA 6 3

Debitul de aer comprimat m³/h	Puterea acustică a sirenei W	Frecvenţa fundamentală a ultrasunetelor kHz	Presiunea at
85	400—600	10—11	3,6
40	400—500	32—34	2,8

Exemplu de calcul al sirenelor dinamice. Se calculează o sirenă avînd următorii parametrii: $\rho_0 C = 430$ kg/m$^2 \cdot$s; $\rho_0 = 1{,}29$ kg/m^3; $C = 330$ m/s; $S_0 = 4{,}5 \cdot 10^{-3}$ m^2 (aria gîtului pîlniei); $a = 2{,}1 \cdot 10^{-3}$ m (raza unui orificiu de stator); $n = 75$ (numărul de orificii din stator); $p = 0{,}4$ at (kgf/cm^2); $f = 3{,}25 \cdot 10^3$ Hz; $\omega = 2\pi f = 2{,}02 \cdot 10^4$ 1/s.

Pîlnia este exponențială,

$$S = S_0 e^{1{,}2x},$$

unde x este exprimat în centrimetri.

1. Determinăm pe E:

$$E = 0{,}55 \cdot 10^{-7} p \frac{S_i}{S_0} n = 0{,}55 \cdot 10^{-7} \cdot 0{,}4 \frac{\pi (2{,}1)^2 \cdot 10^{-3}}{4{,}5 \cdot 10^{-3}} \cdot 75 = 5 \cdot 10^5 \text{ V}.$$

2. Pentru determinarea lui x_0 avem:

$$S = S_0 e^{1{,}2x}: \; S = S_0 e^{2\frac{x}{x_0}}; \; 2\frac{x}{x_0} = 1{,}2x;$$

$$x_0 = 1{,}66 \text{ cm} = 1{,}66 \cdot 10^{-2} \text{ m}.$$

3. Determinăm pe f_0:

$$f_0 = \frac{C}{2\pi x_0} = \frac{330}{2\pi \cdot 1{,}66 \cdot 10^{-2}} = 3\,150 \text{ Hz}.$$

4. Determinăm pe R:

$$R = \frac{\rho_0 C}{S_0}\left(1 - \frac{f_0^2}{f^2}\right)^{-1/2} = \frac{430}{3{,}5 \cdot 10^{-3}}\left[1 - \left(\frac{3{,}15 \cdot 10^3}{3{,}25 \cdot 10^3}\right)^2\right]^{-1/2} = 3{,}8 \cdot 10^5 \; \Omega,$$

5. Determinăm pe L:

$$L = \frac{\rho_0 C}{2\pi f_0 S_0} = \frac{430}{2\pi \cdot 3{,}15 \cdot 10^3 \cdot 4{,}5 \cdot 10^{-3}} = 4{,}85 \text{ H}.$$

6. Determinăm pe ka:

$$k = \frac{2\pi f}{C} = \frac{2\pi \cdot 3{,}25 \cdot 10^3}{3{,}3 \cdot 10^2} = 62 \text{ m}^{-1};$$

$$ka = 62 \cdot 2{,}1 \cdot 10^{-3} = 0{,}13.$$

7. Determinăm pe H:

$$ka = 0{,}13 < 0{,}5, \text{ deci:}$$

$$H = \frac{\rho_0 C k^2 a^2}{2 S_0} = \frac{430 \; (0{,}13)^2}{2 \cdot 4{,}5 \cdot 10^{-3}} = 8{,}2 \cdot 10^2 \; \Omega.$$

8. Determinăm pe M:

$$M = \frac{8 a \rho_0}{3\pi S_0} = \frac{8 \cdot 2{,}1 \cdot 10^{-3} \cdot 1{,}29}{3 \cdot \pi \cdot 4{,}5 \cdot 10^{-3}} = 0{,}51 \text{ H}.$$

9. Determinăm pe Q_1:

$$Q_1 = \frac{\omega L}{R} = \frac{2{,}02 \cdot 10^4 \cdot 4{,}85}{3{,}8 \cdot 10^5} = 0{,}26.$$

10. Determinăm pe Q_2:

$$Q_2 = \frac{\omega M}{H} = \frac{2{,}02 \cdot 10^4 \cdot 0{,}51}{8{,}2 \cdot 10^2} = 12{,}5.$$

Scanned with OKEN Scanner

11. Determinăm pe Q_3:

$$Q_3 = \frac{\omega M}{R} = \frac{2{,}02 \cdot 10^4 \cdot 0{,}51}{3{,}8 \cdot 10^5} = 0{,}026.$$

12. Determinăm pe μ:

$$\mu = 1 + Q_3 \frac{Q_2 + 1/Q_1}{1 + Q_2^2} = 1 + 0{,}026 \frac{12{,}5 + 4}{1 + 12{,}5^2} = 1.$$

13. Determinăm pe χ:

$$\chi = \left(1 + \frac{1}{Q_1^2}\right)^{1/2} = (1 + 16)^{1/2} = 4{,}1.$$

14. Determinăm pe y:

$$y = \frac{(1 + x)^2}{\mu^2} \cdot \frac{\rho_0 E}{S_0^2 R^2} = \frac{(1 + 4{,}1)^2}{1} \cdot \frac{1{,}29 \cdot 5 \cdot 10^5}{2{,}9 \cdot 10^5} = 58.$$

15. Determinăm pe $F(y)$:

$$F(y) = \frac{(1 + 2y)^{1/2 - 1}}{y} = \frac{(1 + 116)^{1/2 - 1}}{58} = 0{,}16.$$

16. Determinăm pe I:

$$I = \frac{E}{R \mu} F(y) = \frac{5 \cdot 10^5 \cdot 0{,}16}{3{,}8 \cdot 10^5 \cdot 1} = 0{,}21 \text{ A}.$$

17. Debitul de aer este:

$$V = 0{,}21 \text{ m}^3/\text{s} = 756 \text{ m}^3/\text{h}.$$

18. Puterea acustică este:

$$N = \frac{1}{2} I^2 R = \frac{1}{2} (0{,}21)^2 \cdot 3{,}8 \cdot 10^5 = 8{,}3 \cdot 10^3 \text{ W}.$$

19. Intensitatea sunetului în gîtul pîlniei este:

$$\gamma = \frac{N}{S_0} = \frac{8{,}3 \cdot 10^3}{4{,}5 \cdot 10^{-3}} = 1{,}8 \cdot 10^6 \text{ W/m}^2 = 1{,}8 \cdot 10^2 \text{ W/cm}^2.$$

20. Randamentul are valoarea:

$$\eta = \frac{F(y)}{2 x \mu} = \frac{0{,}16}{2 \cdot 4{,}1 \cdot 1} = 0{,}02 = 2\%.$$

d) Descrierea construcției sirenelor dinamice și statice

Sirene dinamice. În prezent se cunosc mai multe tipuri de sirene dinamice, care prezintă diverse particularități. Pe lîngă sirenele cu un singur rotor, există construcții de sirene cu două rotoare care se învîrtesc în sensuri opuse, ceea ce asigură dublarea frecvenței vibrațiilor radiate de sirenă.

În afară de acestea, există sirene de tip turbină, la care acționarea se realizează cu ajutorul energiei aerului comprimat, sirene cu turbocompresor, care sînt înzestrate cu un compresor de aer ce asigură alimentarea sirenei ș.a.

Cele mai răspîndite în Uniunea Sovietică sînt sirenele cu un singur rotor, acționate cu motor.

Sirena УС-Г (fig. 6.2) este un generator de tip axial, ale cărui elemente active — rotorul şi statorul — posedă 75 orificii de secţiune circulară, amplasate pe un cerc cu diametrul de 200 mm, cu un pas de 4°48′.

Sirena are o construcţie demontabilă, care se compune din două blocuri independente; carterul *1* şi statorul 2. Construcţia demontabilă prezintă o serie întreagă de avantaje şi anume: simplifică construirea şi asamblarea sirenei, uşurează reglarea interstiţiului axial dintre suprafeţele elementelor active ale sirenei, eliberează axul rotorului de sarcinile radiale etc.

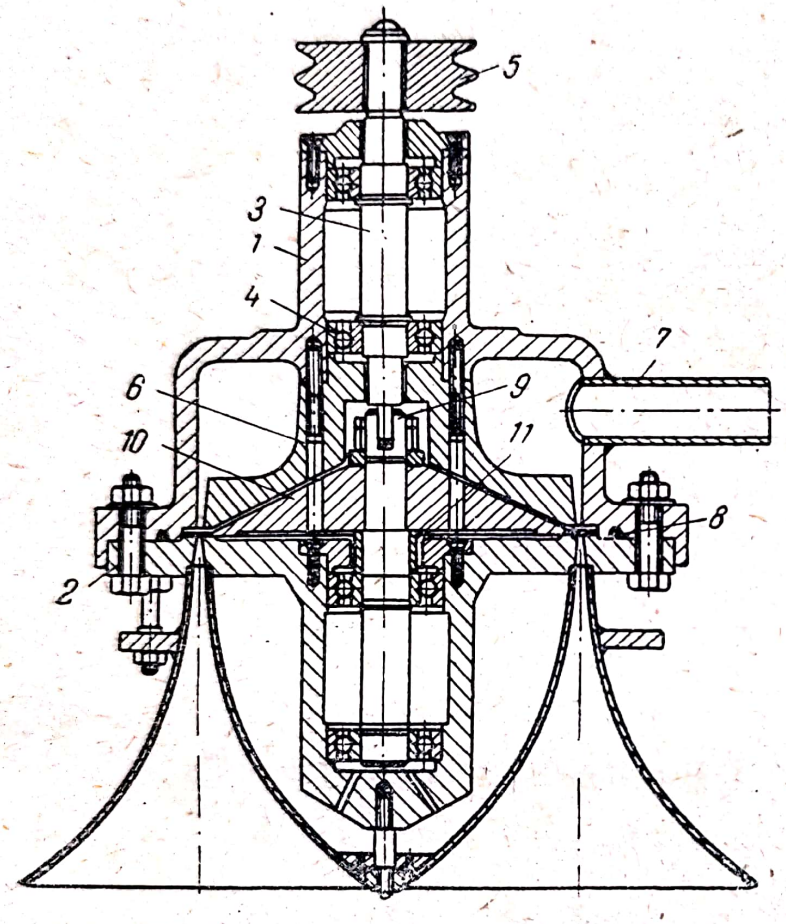


Fig. 6.2. Sirena electrodinamică УС-Г.

În carterul sirenei, turnat dintr-un aliaj de aluminiu, este montat axul de oţel *3* prevăzut cu lagărele radiale *4* cu un singur rînd de bile şi cu roata de curea trapezoidală *5*, precum şi cu bucşa de ghidare *6*. Aceasta din urmă serveşte la uniformizarea şi dirijarea curentului de aer spre periferia rotorului. Pentru introducerea aerului, carterul este prevăzut cu trei stuţuri *7*, aşezate circular cu un pas de 120°. Pe partea frontală a carterului este practicat un şănţuleţ circular în care se introduce garnitura elastică de etanşare *8*, care asigură un contact ermetic între cele două jumătăţi ale sirenei.

În cea de-a doua jumătate a sirenei, statorul, este montat axul *9*, pe care este calat rotorul *10*. Rotorul este un disc de formă conică, care are pe periferie o margine cu înălţimea de 3 mm, în care sînt practicate nişte orificii cilindrice cu diametrul de 3,9 mm, pentru trecerea aerului. Diametrul orificiilor din stator este egal cu 4,2 mm, pentru a se asigura o acoperire completă a orificiilor în timpul rotirii. Rotorul sirenei este confecţionat dintr-un aliaj de aluminiu. Partea activă a statorului este un disc de oţel. Pentru crearea condiţiilor optime de ieşire a jetului de gaz din ajutaje, canalele din stator (cu adîncimea de 15,5 mm) au o formă conică cu un unghi la vîrf al conului de 11° (adică gîtul are diametrul de 4,2 mm, iar partea lărgită — de 7,2 mm). Interstiţiul axial dintre suprafeţele rotorului şi statorului este de 0,5 mm. Reglarea interstiţiului se face prin potrivirea bucşei de distanţare *11*.

Scanned with OKEN Scanner

Deoarece sirena este destinată să funcţioneze la frecvenţe relativ joase, pentru crearea celui mai avantajos regim de radiaţie ea este înzestrată cu o pîlnie de formă exponenţială. Distribuţia intensităţii sunetului pe secţiunea pîlniei este arătată în fig. 6.3.

Randamentul sirenei atinge o valoare de 35—40%. Frecvenţa maximă a sunetului este de 8 kHz, iar intensitatea maximă este de 2,5 W/cm².

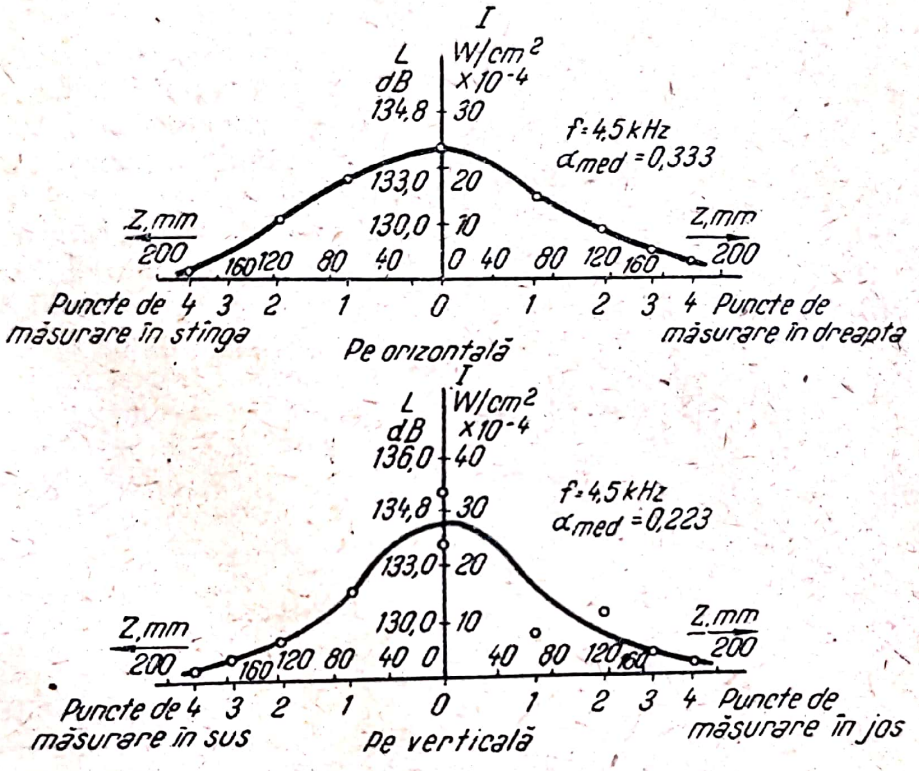


Fig. 6.3. Variaţia intensităţii sunetului cu secţiunea orificiului terminal al pîlniei (în spaţiul liber $Q=25$ Nm³/h, $f=4,5$ kHz).

Sirena CM-1 (fig. 6.4) oferă posibilitatea obţinerii unor vibraţii sonore cu frecvenţa pînă la 15—16 kHz.

Particularităţile constructive şi datele tehnice ale acestei sirene sînt următoarele: statorul *1* este confecţionat sub forma unei flanşe, pe a cărei parte superioară este montată carcasa 2, iar pe cea inferioară capacul 3. În capac au fost practicate 80 orificii conice, cu diametrul iniţial de 2,0 mm, amplasate pe o circumferinţă cu diametrul de 110 mm. Rotorul 4 este montat pe arbore în consolă. Acest fapt face posibil un acces uşor în carterul sirenei (prin scoaterea capacului statorului), păstrează posibilitatea variaţiei interstiţiului dintre stator şi rotor şi indepărtează lagărele din zona unde poate apărea o temperatură ridicată (atunci cînd se lucrează cu gaze fierbinţi). Diametrul rotorului este de 116 mm, iar lăţimea intervalelor dintre oficii este cu 0,2—0,3 mm mai mare decît diametrul orificiilor din stator. Pentru fixarea rotorului pe direcţia axială, pe axul acestuia sînt montaţi doi rulmenţi radial-axiali 5 cu două rînduri de bile, cărora li se dă în timpul asamblării o întindere preliminară. Cel de-al treilea rulment cu bile, 6, este de tip radial. Carcasa rulmenţilor este realizată sub forma unui pahar prevăzut cu o flanşă şi o

manta conică. Aceasta din urmă dă subansamblului rigiditatea şi simultan formează un spaţiu care, în caz de necesitate, poate fi utilizat cu succes pentru răcirea cu apă a lagărelor. Aerul comprimat este introdus în carterul sirenei printr-un canal practicat în grosimea flanşei. Pîlnia 7 este fixată pe capacul statorului şi este realizată conform unei curbe exponenţiale; la sirena de tip CM-1, coeficientul de lărgire a pîlniei a fost luat egal cu 0,7.

Pentru acţionare se foloseşte un motor electric de curent continuu avînd puterea de 0,4 kW şi turaţia nominală de 2 800 rot/min.

Pentru acoperirea gamei necesare de frecvenţe, intre axul motorului electric şi axul sirenei a fost intercalat un reductor, cu roţi dinţate pentru schimbarea turaţiei. Pentru variaţia fină a turaţiei, şi a fiecărei trepte, în circuitul bobinajului rotorului şi celui de excitaţiei au fost introduse reostate. Instalaţia descrisă permite acope-

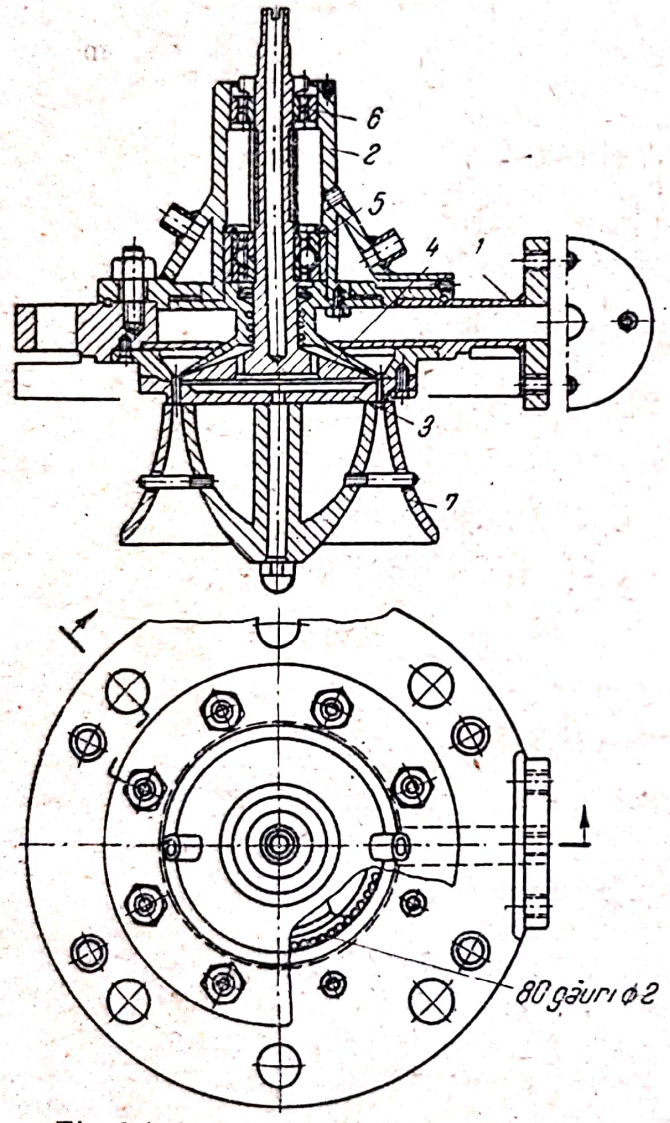


Fig. 6.4. Aspectul general al sirenei CM-1.

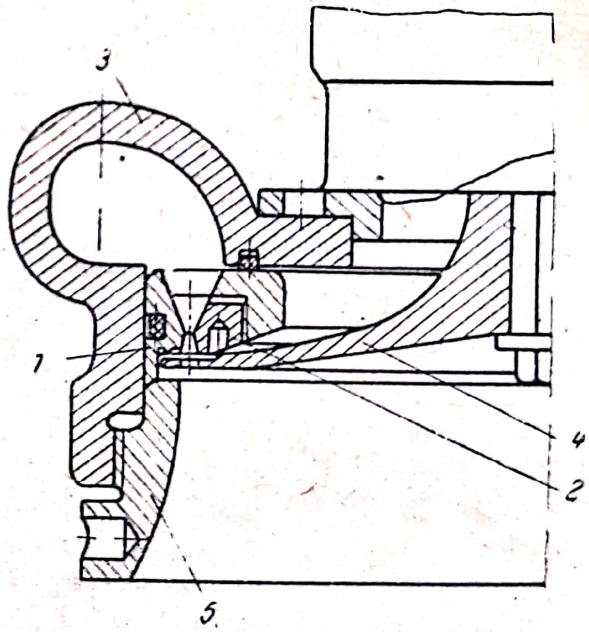


Fig. 6.5. Schema construcţiei sirenei de tip ВНИТИ

rirea fină a unei game de frecvenţe care se întinde pînă la aproximativ 15—16 kHz. Nivelul maxim al sunetului produs de sirena CM-1 depăşeşte 1—3 W/cm^2. Intensitatea sunetului poate fi schimbată prin variaţia presiunii aerului comprimat care alimentează sirena. Pentru a se obţine o intensitatea a sunetului egală de exemplu cu 1 W/cm^2, presiunea necesară este de circa 5 at, iar debitul de aer este circa 2 m^3/min.

Sirene de tip ВНИТИ. Schema constructivă de principiu a sirenelor de tip ВНИТИ este reprezentată în fig. 6.5.

TABELA 6.4

Caracteristici principale	УЗГ-1Н	УЗГ 1В	УЗГ-2	УЗГ-3	УЗГ-4
Instalarea	Orizontală	Orizontală	Orizontală	Verticală	Verticală
Greutatea, kg	~ 450	~ 450	300	210	30
Sistemul de acţionare electrică	Cu transmisie prin curea	Cu transmisie prin curea	Directă	Directă	Directă, de scurtă durată
Puterea motorului electric, kW	10	10	4,5	4,5	2,5
Turaţia rotorului, rot/min	Reglabilă 3 000—12 000	Reglabilă 3 000—12 000	Reglabilă 1 500—4 500	Reglabilă 1 500—4 500	Reglabilă 8 400 pînă la 25,2
Frecvenţa impulsurilor, kHz	36—115	130—3 240	9—27	9—27	3,0
Presiunea aerului de alimentare, kgf/cm²	3—4	3—4	3—4	3—4	~ 500
Debitul de aer comprimat m³/h	—	—	—	—	162
Nivelul intensităţii sunetului, dB	159	124	166 la 17,4kHz	—	—
Puterea acustică, kW	—	—	—	—	—
Randamentul, %	—	—	—	—	200
Diametrul rotorului, mm	370	370	370	370	

Statorul sirenei se compune din două părţi: inelul exterior *1* şi discul interior *2*, îmbinate cu filet (este posibil şi un alt mod de îmbinare a celor două părţi ale statorului: prin presare, pe cale termică etc.). Pe discul *2* au fost confecţionate nişte palete care servesc la „tăierea" fluidului de lucru din faţa rotorului. În carcasa *3* este amplasat liber statorului. Rotorul *4* este calat pe axul unui motor electric. Datorită presiunii fluidului de lucru (aer comprimat), statorul este apăsat pe opritorul *5*, îmbinat prin filet cu carcasa

Fig. 6.6. Aspectul exterior al sirenelor de tip ВНИТИ:
a — cu diametrul rotorului de 75 mm;
b — cu diametrul rotorului de 200 mm

sirenei. Prin rotirea opritorului 5 intre anumite limite, se reglează intestiţiul dintre rotor şi stator.

Datele principale ale sirenelor de tip ВНИТИ sînt expuse în tabela 6.4. iar în fig. 6.6 sînt arătate aspectele exteriaore ale sirenelor cu diametrul rotorului de 75 mm (fig. 6.6 *a*) şi 200 mm (fig. 6.6, *b*)

Scanned with OKEN Scanner

În unele cazuri, în timpul utilizării sirenelor este necesar să se evite diluarea mediului iradiat cu sunete. În acest scop se utilizează sirene cu două camere. Schema de principiu a unei sirene de acest tip este arătată în fig. 6.7. Cutia sirenei are două camere: camera de compresie *1* şi camera de rarefiere *2*. Statorul este prevăzut cu două feluri de orificii: unele care comunică cu camera de rarefiere, iar altele care comunică cu camera de compresie.

Compresorul de aer care asigură alimentarea sirenei, este legat printr-un tub de refulare cu camera de compresie şi printr-un tub de aspiraţie cu camera de rarefiere; ca rezultat se formează un sistem închis. În timpul învîrtirii lui, rotorul leagă alternativ sistemul de orificii de comprimare şi de rarefiere cu mediul iradiat cu sunete. Întrucît cantitatea de aer refulat şi aspirat (fără a se lua în considerare scurgerile) este identică, nu se obţine o diluare a mediului iradiat de către mediul de lucru.

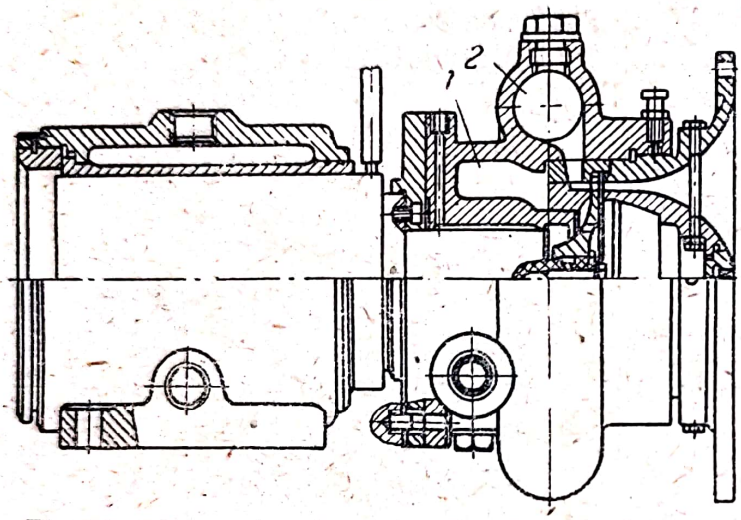


Fig. 6.7. Schema de principiu a sirenei cu două camere de tip ВРИТИ.

Sirene statice. Elementele de bază ale oricărei sirene statice sînt un fluier aerodinamic şi camera secundară de rezonanţă. Sirenele statice se deosebesc una de alta mai ales prin numărul de fluiere, construcţia camerei secundare de rezonanţă şi poziţia fluierelor în interiorul acestei camere. Există în prezent sirene statice care conţin 1, 4, 6, 8 fluiere şi chiar mai multe. Camerele secundare de rezonanţă sînt în formă de inel, de elipsă etc.

În Uniunea Sovietică, fabricarea sirenelor statice a început relativ recent, dar ele au vaste perspective de utilizare. Mai jos se prezintă descrierea a două sirene statice.

Sirena statică СУС-ГН (fig. 6.8) posedă 8 vibratoare aerodinamice, amplasate pe o circumferinţă şi care funcţionează în paralel. Aerul cu presiunea de 4,5 at se aplică niplului *8*, înşurubat în capacul *4* fixat pe carcasa *1* a sirenei. Aerul comprimat ajunge, prin niplu, într-o cavitate aflată în carcasă, iar după aceea trece simultan prin toate ajutajele *5* ale vibratoarelor. După cum s-a arătat mai sus, în acest caz curentul de aer capătă o structură periodică. În faţa ajutajelor se amplasează rezonatoarele *6*. Este necesar ca toate vibratoarele să funcţioneze în fază. Pentru crearea unui asemenea regim de funcţionare se variază spaţiul dintre ajutaj şi cavitatea rezonantă şi adîncimea cavităţii rezonante. Aceasta se asigură prin deplasarea ajutajului şi a rezonatorului, care sînt îmbinate cu carcasa cu ajutorul unor părţi filetate, şi prin intermediul şurubului de reglare *7*. Invariabilitatea distanţei alese între ajutaj şi rezonator şi a adîncimii cavităţi rezonante se asigură cu ajutorul contrapiuliţelor *9* şi *10*. Pentru o transmitere mai eficace a vibraţiilor în mediul aerian, carcasa sirenei

este legată cu pîlnia exponenţială 2 şi piesa cu contur aerodinamic 3. În acelaşi scop se foloseşte o cavitate secundară de rezonanţă, practicată în mod special — prin strunjire — în carcasă. Dimensiunile cavităţii se determină prin

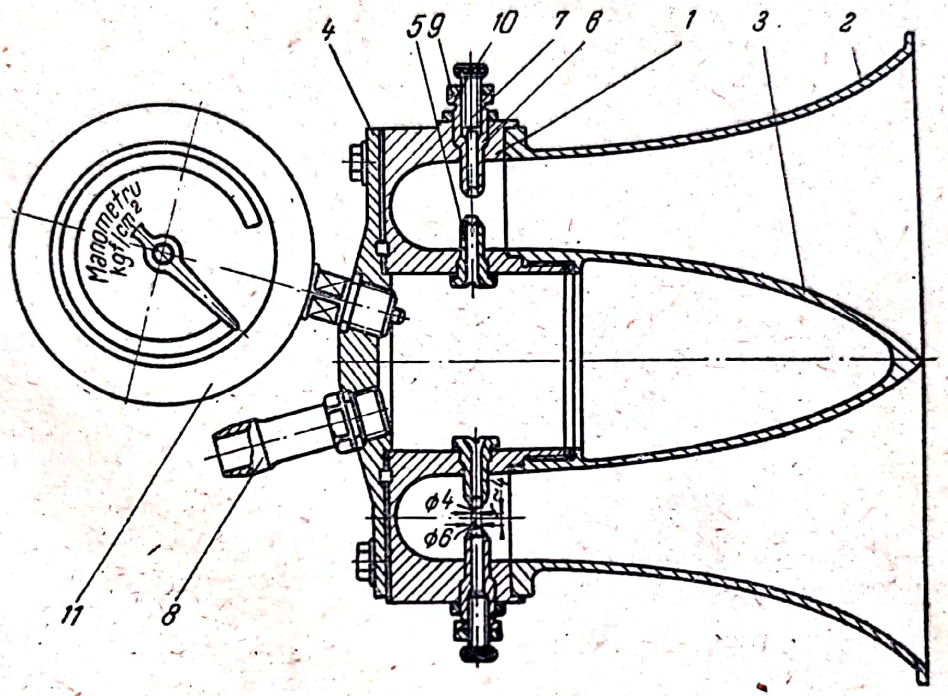


Fig. 6.8. Sirena statică cu ultrasunete СУС-ГН.

calcul. Deoarece sirena funcţionează cu aer comprimat, pentru etanşarea cavităţii din carcasa sirenei o serie de piese sînt prevăzute cu garnituri speciale de etanşare din piele. Pentru măsurarea presiunii s-a montat pe sirenă manometrul *11*.

Sirena are următoarele date tehnice:

Puterea	300 W
Frecvenţa	12 kHz
Presiunea aerului comprimat	4,5 at
Debitul de aer	5 m³/min.

Sirena statică de tip СУС-Н (fig. 6.9), spre deosebire de sirena СУС-ГН, nu are 8 vibratoare aerodinamice separate, ci numai 4 vibratoare aerodinamice separate, care funcţionează în paralel, şi sînt aşezate pe o circumferinţă.

Aerul comprimat, introdus în sirenă printr-un ştuţ special înşurubat în carcasa 2 a sirenei, se aplică concomitent tuturor ajutajelor 5. La o anumită

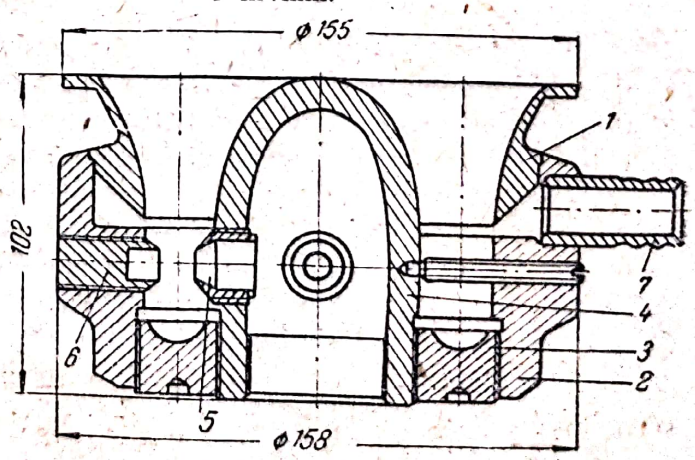


Fig. 6.9. Sirena statică cu ultrasunete СУС-Н.

distanţă în faţa fiecărui ajutaj este aşezat rezonatorul *6*. Pentru acordarea sirenei s-a prevăzut posibilitatea variaţiei distanţei dintre ajutaje şi rezonatoare, care sînt prinse de carcasă prinr-o îmbinare cu filet. Pe carcasa sirenei sînt fixate pîlnia exponenţială *1* şi difuzorul *4*. Dimensiunile cavităţii pot fi modificate prin deplasarea reflectorului *3*, care este prins de carcasă printr-o îmbinare cu filet. Pentru a se evita diluarea mediului iradiat cu sunete, de către aerul trimis prin ajutajele sirenei, a fost prevăzut ştuţul *7*.

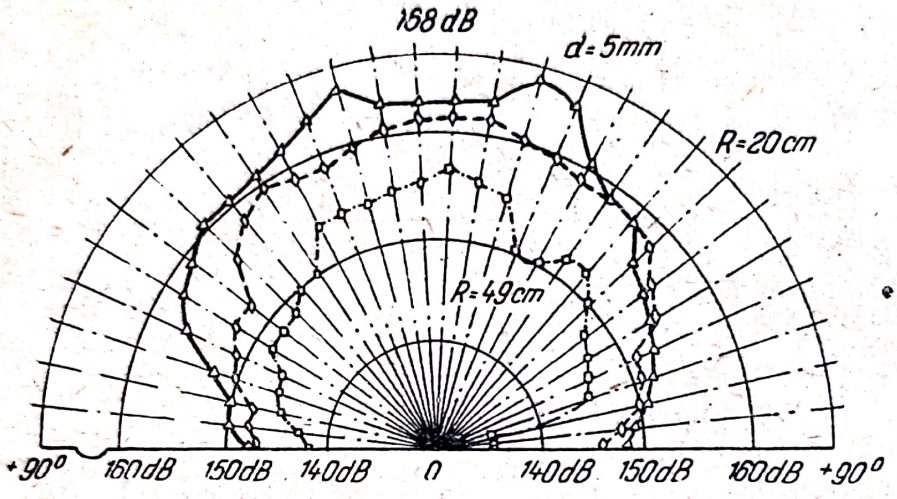


Fig. 6.10. Caracteristica de directivitate a sirenei СУС-Н.

Caracteristica de directivitate a sirenei este reprezentată în fig. 6.10. Datele tehnice ale sirenei sînt următoarele:

Frecvenţa sunetelor radiate	5—10 kHz
Presiunea aerului suflat	4 at
Intensitatea maximă a sunetelor la o distanţă de 100 mm de sirenă	≈ 1 W/cm².

6.2. TRADUCTOARE HIDRODINAMICE

a) Principiul de funcţionare

În prezent există un mare număr de diverse tipuri de vibratoare ultrasonore hidrodinamice. În Uniunea Sovietică cel mai mult folosite sînt vibratoarele hidrodinamice cu dispozitive vibratorii rezonante în formă de placă sau în formă de bară, precum şi vibratoare cu vîrtej şi cu rotor.

Principiile de funcţionare a vibratoarelor în formă de placă şi de bară sînt identice şi se bazează pe un efect cunoscut din hidraulică, care constă în faptul că un jet de lichid care iese cu mare viteză dintr-o fantă îngustă, cînd întîlneşte un obstacol care nu are formă aerodinamică, ci prezintă muchii ascuţite, produce în mediul din vecinătatea suprafeţei obstacolului un vîrtej, cu presiune excendentară în partea lui centrală. Aceasta se întîmplă deoarece ocolirea unor corpuri de formă neaerodinamică este intovărăşită de ruperea curentului de lichid. În punctul de rupere, stratul marginal se îndepărtează de suprafaţa corpului solid înspre volumul de lichid, adică se transformă într-un

fel de jet care se deplasează sub un unghi faţă de curentul de lichid exterior. Vîrtejuri analoge se formează în cazul cînd dintr-un orificiu curge un jet care se roteşte repede (vibratoare cu vîrtej). În cazul unei curgeri neîntrerupte a lichidului, vîrtejurile se succed unul după altul, dînd naştere unei succesiuni de căderi de presiune care are caracterul unei unde sonore. Frecvenţa acestei unde sonore, generată de către vîrtejuri, depinde de numărul de vîrtejuri care trec în unitatea de timp printr-un punct oarecare al suprafeţei obstacolului, de viteza de deplasare a vîrtejului în mediu şi de distanţa dintre centrele vîrtejurilor vecine. Ea se determină cu formula

$$f = \frac{nV}{h}\left[a + \frac{b}{Re}\right],$$

în care: n este componenta armonică a vibraţiilor (egală cu 1, 2, 3, 4...);
a, b sînt coeficienţi care caracterizează mediul;
Re este numărul lui Reynolds;
V — viteza de curgere a lichidului din ajutaj;
h distanţa de la ajutaj pînă la obstacol.

Experienţa arată că raportul b/Re are o valoare mică şi poate fi neglijat; coeficientul a depinde de mediu şi caracterizează acea parte din energia jetului care se consumă pentru mişcarea de translaţie a vîrtejului. În apă, energia jetului se distribuie aproximativ în două părţi egale: jumătate este absorbită pentru formarea vîrtejului, iar cealaltă — pentru deplasarea de translaţie a vîrtejului. Prin urmare, pentru apă, coeficientul a este egal cu 0,5. Simplificînd formula şi considerînd numai prima armonică $(n=1)$, vom găsi că frecvenţa va avea valoarea:

$$f = \frac{0{,}5V}{h}.$$

Undele sonore care se obţin ca rezultat al vîrtejului se propagă în mediu, inclusiv înspre fantă (ajutaj), ajung la aceasta din urmă şi încep să moduleze jetul care iese din ajutaj, asigurînd în felul acesta (în cazul unei anumite alegeri a distanţei dintre fantă şi obstacol) o reacţie pozitivă şi vibraţii sonore neamortizate. În primă aproximaţie, amplitudinea A a acestor vibraţii are valoarea $A=d/2$, unde d este lăţimea fantei. Presiunea sonoră P, măsurată sub un unghi $\varnothing$ faţă de planul jetului care iese şi la o distanţă h de mijlocul distanţei dintre fantă şi obstacol, se determină cu o formulă aproximativă care dă rezultate ce concordă bine cu rezultatele dobîndite în practică:

$$P = \frac{2{,}36}{rC}\rho d S^{3/2} f^3 \cos\varnothing \text{ (în sistemul MKS)},$$

unde C este viteza sunetului în mediu;
f — frecvenţa;
ρ — densitatea lichidului;
d — lăţimea fantei;

$$S = \frac{hk}{3},$$

unde h este distanţa de la fantă pînă la marginea obstacolului;
k — lungimea fantei.

Scanned with OKEN Scanner

Pentru mărirea intensităţii sunetelor, la vibratoarele hidrodinamice (exceptînd cele cu vîrtej) drept obstacole se folosesc dispozitive acordate la rezonanţă cu vibraţiile sonore obţinute de la vîrtejurile lichidului. Aceste dispozitive vibratorii rezonante sînt confecţionate în mod obişnuit sub forma unor plăci plane, fixate în două puncte nodale sau în consolă, sau sub forma unor bare fixate în ambele părţi sau într-o singură parte. Dacă frecvenţa vibraţiilor mediului coincide cu frecvenţa proprie de vibraţie a rezonatorului, în acesta din urmă apar vibraţii sonore de amplitudine mare, care se transmit în mediul ce înconjoară rezonatorul.

b) Elemente constructive fundamentale

Vibratoarele hidrodinamice se compun din următoarele subansambluri principale: ajutajul, dispozitivul vibratoriu rezonant şi dispozitivul care asigură alimentarea ajutajului cu lichid sub presiune. În unele cazuri, vibratorul este introdus într-un rezonator secundar (cameră de rezonanţă, pahar acustic etc.).

Ajutajul. La vibratoarele hidrodinamice cu dispozitive vibratorii rezonante în formă de plăci, ajutajul permite trecerea lină a lichidului de la secţiunea unui tub rotund la un orificiu îngust în formă de fantă. De aceea, este necesar să se asigure o astfel de formă a ajutajului, care să garanteze pierderi minime prin frecare în timpul curgerii lichidului. Părţile interioare ale ajutajului trebuie să aibă o suprafaţă cu un grad de finisare maxim posibil. Este de dorit ca ele să fie lustruite. Trecerea de la partea rotundă la cea conică a ajutajului, şi apoi la fantă, trebuie să fie lină. Unghiul de conicitate este egal în mod obişnuit cu 26—30°. În fig. 6.11, *a* este arătat desenul unui ajutaj care asigură condiţiile menţionate mai sus.

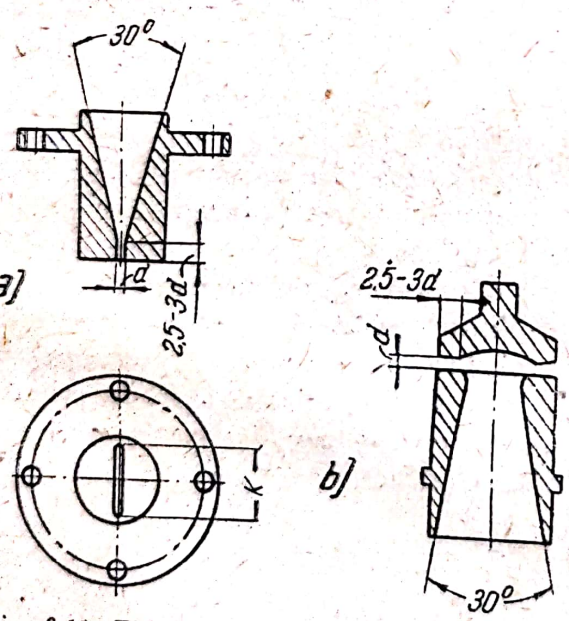


Fig. 6.11. Tipuri de ajutaje ale vibratoarelor hidrodinamice.

Pentru ca la ieşirea din ajutaj să se obţină un jet plan de lichid, este necesar ca pereţii fantei să fie riguros paraleli pe o anumită distanţă. În mod obişnuit, această distanţă este luată egală cu de 2,5 . . . 3 ori grosimea fantei. Lăţimea şi lungimea fantei depind de parametrii vibratoarelor şi de construcţia acestora. Lăţimea fantei este cuprinsă între 0,2 şi 2 mm, iar lungimea ei — între 10 şi 30 mm.

Dacă drept dispozitiv vibratoriu rezonant se folosesc bare dispuse după un cilindru, fixate pe margini (precum şi în vibratoarele cu vîrtej), ajutajul (fig. 6.11, *b*) este făcut rotund şi în dreptul lui se amplasează o placă reflectantă rotundă. Condiţiile impuse ajutajelor de acest fel sînt asemănătoare cu condiţiile date mai sus pentru vibratoarele în care se folosesc dispozitive vibratorii rezonante în formă de placă.

Viteza de curgere a lichidului din ajutaj se determină cu formula

$$V = \mu \sqrt{2gp},$$

în care: μ este un coeficient care depinde de forma ajutajului şi de viscozitatea lichidului;
g — acceleraţia gravitaţiei;
p — presiunea.

Coeficientul μ este definit ca raportul

$$\mu = \frac{Q_r}{Q_t},$$

în care: Q_r este debitul real;
Q_t — debitul teoretic.
Q_t poate fi găsit cu formula

$$Q_t = F \sqrt{2\ g\ p},$$

în care: F este aria de scurgere a lichidului din ajutaj. Prin urmare

$$\mu = \frac{Q_r}{F\sqrt{2\ gp}}.$$

Înlocuind această valoare în formula vitezei de scurgere şi făcînd simplificările respective, vom obţine:

$$V = \frac{Q_r}{F}.$$

Cunoscînd valoarea vitezei de curgere V, se poate determina frecvenţa undei sonore generate de vîrtejurile din lichid. Ea va fi:

$$f = \frac{0{,}5\ Q_r}{Fh}.$$

Dacă în formulă se înlocuieşte Q_r în cm^3/s, iar F şi h în cm^2, respectiv cm, frecvenţa se va obţine în herţi. Uneori este mai comod să se găsească variaţia acestei frecvenţe în funcţie de presiunea jetului de lichid. Pentru un ajutaj dreptunghiular μ este de obicei luat egal cu 0,6; atunci formula va căpăta forma (pentru prima armonică)

$$f = \frac{420\sqrt{p}}{h},$$

unde p este presiunea, at;
h — distanţa de la ajutaj pînă la obstacol, cm.

Trebuie să se menţioneze că această formulă dă numai un rezultat aproximativ, deoarece coeficientul μ poate varia între limite destul de largi.

Dispozitive vibratorii rezonante. Rolul dispozitivului vibrator rezonant constă în a mări intensitatea vibraţiilor sonore care apar într-un mediu lichid

(produse de vîrtejurile lichidului), datorită excitării unor vibraţii de rezonanţă într-un corp solid elastic. Dacă frecvenţa vibraţiilor rezonatorului coincide cu frecvenţa vibraţiilor care se formează în cazul unor vîrtejuri ale lichidului, apar vibraţii sonore de amplitudine mărită, care se transmit în mediul ce înconjoară rezonatorul.

Pentru confecţionarea dispozitivelor vibratorii rezonante trebuie să se folosească materiale care posedă un modul de elasticitate maxim. Se poate recomanda, de pildă, utilizarea oţelului pentru arcuri, a oţelului У-7 etc., cu tratament termic ulterior. Toate suprafeţele dispozitivelor vibratorii rezonante trebuie să fie riguros paralele şi şlefuite cu grijă. În timpul funcţionării părţile ascuţite ale dispozitivelor vibratorii rezonante se distrug şi se tocesc sub acţiunea cavitaţiei; de aceea, ele trebuie ascuţite şi şlefuite periodic. Drept dispozitive vibratorii rezonante se utilizează de obicei plăci plane cu capetele ascuţite sau bare cu proeminenţe ascuţite. Plăcile pot fi fixate în două puncte nodale, în consolă şi la centru; barele pot fi fixate la ambele capete sau la un singur capăt. Frecvenţa proprie a vibraţiilor dispozitivelor vibratorii rezonante depinde de forma acestora, de dimensiuni, de metodele de fixare şi de proprietăţile materialului din care sînt confecţionate.

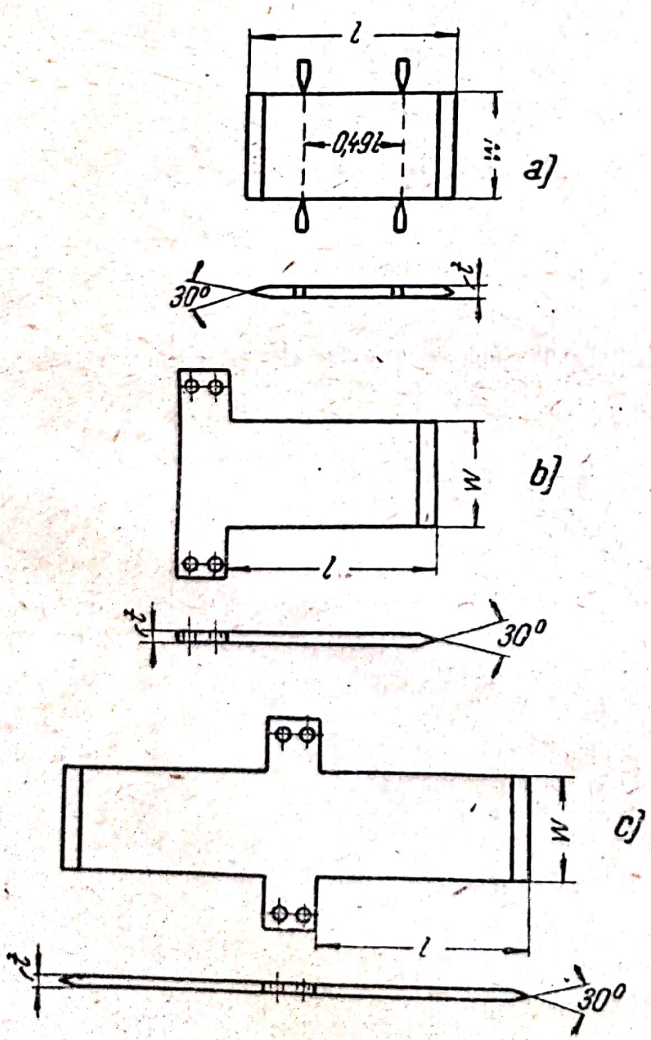


Fig. 6.12. Dispozitive vibratorii rezonante de forma unor plăci plane.

Cel mai mult utilizate sînt plăcile plane. Pentru alegerea dimensiunilor principale ale acestora au fost stabilite următoarele relaţii empirice: grosimea plăcii trebuie să fie mai mare sau egală cu lăţimea ajutajului, iar lăţimea plăcii trebuie să fie mai mică sau egală cu jumătate din lungimea plăcii. Capetele în formă de pană ale plăcii trebuie să aibă un unghi de ascuţire de 30°. Pentru plăcile fixate în două puncte nodale, distanţa dintre noduri trebuie să fie egală cu 0,49 din lungimea plăcii.

În cele ce urmează se dau formule pentru calculul frecvenţei proprii la cîteva tipuri de dispozitive vibratorii.

Calculul frecvenţei proprii a dispozitivelor vibratorii rezonante realizate sub forma unor plăci plane. În cazul fixării plăcilor în două puncte nodale (fig. 6.12, *a*), frecvenţa proprie de vibraţie se calculează cu formula

$$f_{pl} = 1{,}03 \frac{t}{l^2} \sqrt{\frac{E}{\rho}} \text{ [Hz]},$$

în care: t este grosimea plăcii, cm;
l — lungimea plăcii, cm;
E — modulul de elasticitate, dine/cm^2;
ρ — densitatea materialului, g/cm^3.

Deoarece placa se confecţionează de obicei din oţel, se poate simplifica formula şi pentru o placă de oţel ea va avea forma:

$$f_{pl} = 5{,}40 \cdot 10^5 \frac{t}{l^2} \cdot [\text{Hz}].$$

În cazul fixării plăcilor în consolă (fig. 6.12, *b*) sau la centru (fig. 6.12, *c*), frecvenţa vibraţiilor proprii se calculează cu formula

$$f_{pl} = 0{,}162 \frac{t}{l^2} \sqrt{\frac{E}{\rho}} \text{ [Hz]},$$

în care: t este grosimea plăcii, cm;
l — lungimea plăcii (a unei console), cm;
E — modulul de elasticitate, dine/cm^2;
ρ — densitatea materialului, g/cm^3.

Cînd se utilizează o placă de oţel, formula va avea forma:

$$f_{pl} = 8{,}45 \cdot 10^4 \frac{t}{l^2} \cdot$$

Calculul frecvenţei proprii a unui dispozitiv vibratoriu rezonant realizat sub formă de bare. Dacă barele sînt fixate la un singur capăt (fig. 6.13, *a*), calculul frecvenţei proprii de vibraţie se efectuează cu formula

$$f_b = 0{,}162 \frac{t}{l^2} \sqrt{\frac{E}{\rho}} \text{ [Hz]},$$

în care: t este grosimea barei, cm;
l — lungimea barei, cm;
E — modulul de elasticitate, dine/cm^2;
ρ — densitatea materialului, g/cm^3.

Dacă se folosesc bare de oţel, formula va avea forma

$$f_b = 8{,}45 \cdot 10^4 \frac{t}{l^2} \text{ [Hz]}.$$

Cînd barele sînt fixate la ambele capete (fig. 6,13, *b*) frecvenţa lor proprie de vibraţie se determină cu formula

$$f_b = 1{,}03 \frac{t}{l^2} \sqrt{\frac{E}{\rho}} \text{ [Hz]},$$

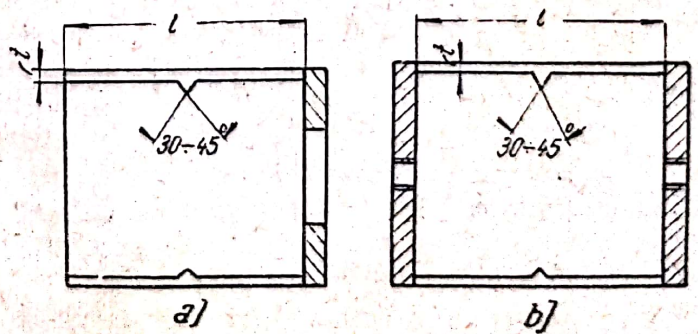


Fig. 6.13. Dispozitiv vibratoriu rezonant în formă de bare.

în care: t este grosimea barei, cm;
l — lungimea barei, cm;
E — modulul de elasticitate, dine/cm^2;
ρ — densitatea materialului, g/cm^3.

Pentru barele de oţel, formula va avea forma

$$f_b = 5{,}4 \cdot 10^5 \frac{t}{l^2} .$$

Dispozitiv care asigură alimentarea ajutajului cu lichid sub presiune. Drept dispozitive pentru alimentarea ajutajului cu lichid sub presiune se pot folosi sau pompe de lichid, sau rezervoare duble, umplute cu lichid, care sînt golite introducînd aer (sau un gaz inert) sub presiune. Cel mai des se folosesc pompe pentru lichid. Rezultate bune se obţin în cazul utilizării, de exemplu, a pompelor centrifuge cu vîrtej 2,5—ЦВ-0,8, a pompelor cu rotor şi roţi dinţate Р3-3 şi a pompelor cu roţi dinţate ШДМ-100.

Este posibilă utilizarea şi a altor tipuri de pompe care asigură un jet uniform nepulsatoriu sau care sînt prevăzute cu un dispozitiv pentru netezirea pulsaţiilor. Cînd se lucrează cu suspensii care au acţiune abrazivă, piesele pompei, care vin în atingere cu suspensia, trebuie acoperite cu cauciuc rezistent la abrazivi, marca ЛТИ Mehanobr nr. 8. Pentru obţinerea unor frecvenţe joase (1—6 kHz), se utilizează pompe care asigură o presiune a lichidului de 5—10 at. Pentru obţinerea unor frecvenţe mai înalte sînt necesare pompe cu presiunea lichidului de 20—30 at.

c) Descrierea construcţiei vibratoarelor ultrasonore hidrodinamice

În industrie se folosesc trei tipuri sovietice de vibratoare hidrodinamice cu dispozitive vibratorii rezonante în formă de plăci: УГИ-Д (vibrator ultrasonor hidrodinamic cu fixarea plăcii în două puncte nodale); УГИ-К (vibrator ultrasonor hidrodinamic cu fixarea plăcii în consolă) şi УГИ-Ц (vibrator ultrasonor hidrodinamic cu fixarea centrală a plăcii).

Dintre vibratoarele hidrodinamice cu dispozitive vibratorii rezonante în formă de bare dă rezultate bune vibratorul УГИ-С (vibrator ultranosor hidrodinamic cu mai multe bare, fixate în două părţi).

În ultimul timp a început să se folosească vibratorul hidrodinamic cu vîrtej УГИ-В, precum şi vibratoare cu rotor şi cu rotor în elice.

Toate aceste vibratoare radiază un spectru de vibraţii elastice cuprinse în mod obişnuit între 0,5 şi 20 kHz. Intensitatea sunetelor radiate este de 1—2 W/cm^2.

Vibratoarele hidrodinamice funcţionează îndeosebi în medii lichide. Ele dau posibilitatea să se prelucreze concomitent volume mari de lichid, pînă la cîţiva metri cubi pe oră, consumîndu-se o energie electrică de circa 2—3 kW (pentru motorul pompei).

Vibratorul hidrodinamic УГИ-Д, cu dispozitiv rezonant în formă de placă (fig. 6.14), se compune din ţeava 2, care se termină cu ajutajul 5 şi care este prevăzută cu consola 4 cu două coloane de ghidare 3 şi cu un dispozitiv de

reglare pentru deplasarea pe orizontală a ajutajului. La capătul ghidajelor este fixat un dispozitiv vibratoriu rezonant de forma unei plăci 6 cu marginile ascuţite, fixată în două puncte nodale cu ajutorul unui şurub care serveşte în acelaşi timp la aşezarea plăcii în planul ajutajului. Reglarea interstiţiului dintre ajutaj şi dispozitivul vibratoriu rezonant în formă de placă se realizează cu dispozitivul de reglare menţionat mai sus. Le reglarea interstiţiului este necesar să se urmărească poziţia fantei în raport cu dispozitivul vibratoriu; fanta trebuie să fie amplasată în aşa fel, încît jetul care iese din ea să fie tăiat simetric de placă. Pentru funcţionarea vibratorului lichidul este trimis de la pompă, sub o presiune de 5—15 at, prin ţeavă în ajutaj şi iese din acesta sub forma unui jet plan şi elastic. La marginea plăcii, în lichidul de lîngă suprafaţa plăcii, apar vîrtejuri şi se formează vibraţii elastice care sînt amplificate datorită vibraţiilor de rezonanţă ale dispozitivului vibratoriu elastic în formă de placă.

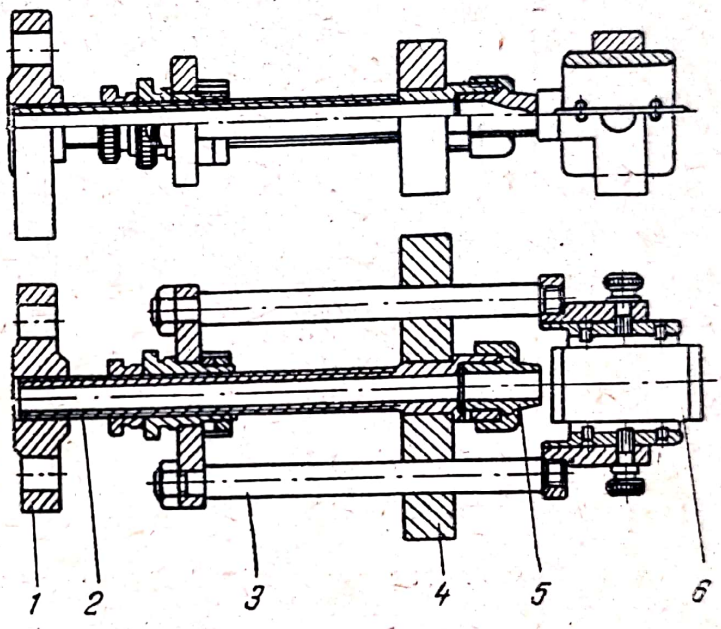


Fig. 6.14. Vibrator hidrodinamic УГИ-Д.

Reglarea funcţionării vibratorului se face în modul următor. Se apropie placa de ajutaj pînă cînd se lipeşte de acesta şi se potriveşte exact în planul ajutajului. În această poziţie placa este fixată cu un şurub de reglare. După aceea se îndepărtează placa de ajutaj cu distanţa calculată în prealabil. Apoi se pune pompa în funcţiune şi se verifică dacă placa taie simetric vîna de lichid care iese din ajutaj. După această reglare preliminară, se cufundă vibratorul în lichid şi, variînd distanţa dintre placă şi ajutaj, se caută să se obţină funcţionarea plăcii pe frecvenţa ei de rezonanţă. Pentru verificarea acordului plăcii, aceasta poate fi iluminată în obscuritate cu un izvor de lumină puternică. În cazul unui acord exact se vede cît se poate de clar norul de ceaţă care se formează în jurul plăcii, care dispare în cazul unei amortizări puternice a plăcii. Calitatea funcţionării vibratorului poate fi determinată şi măsurînd, cu un aparat ИЗД, valoarea presiunii sonore maxime produse de vibrator.

Trebuie să se observe că, în cazul unei funcţionări neîntrerupte a vibratorului УГИ-Д, adesea fixarea plăcii în două puncte nodale este deranjată şi vibratorul începe să funcţioneze necorespunzător. Acesta este principalul dezavantaj al vibratorului descris mai sus.

Vibratorul este prevăzut cu un complet de ajutaje avînd lăţimea fantei de la 0,2 pînă la 1,5 mm şi cu un complet de plăci cu grosimea de la 1 pînă

la 3 mm. El radiază un spectru de vibraţii elastice cu energia maximă la o frecvenţă de 10—15 kHz şi cu intensitatea pînă la 1—2 W/cm^2.

Vibratorul hidrodinamic УГИ-К cu dispozitiv rezonant în formă de placă (fig. 6.15) se compune dintr-o ţeavă, la capătul căreia — cu ajutorul ştuţului de trecere 5 — este fixat ajutajul 3. Pe ţeavă există două rigle de ghidare *1*, la capătul cărora este fixat în consolă un dispozitiv rezonant 2, avînd forma

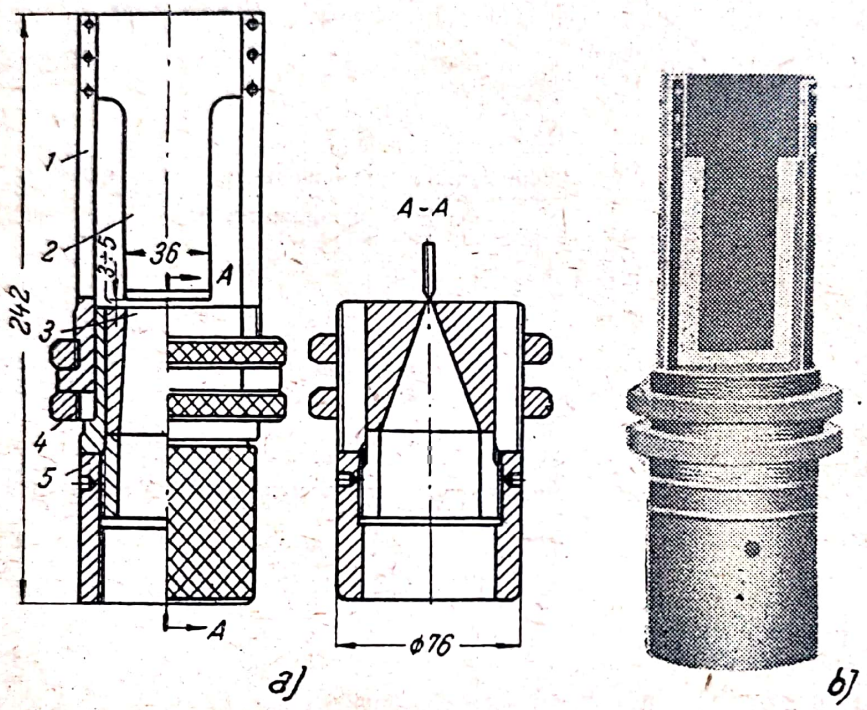


Fig. 6.15. Vibrator hidrodinamic УГИ-К:
a — schema vibratorului; *b* — aspectul exterior.

unei plăcuţe plane. Pentru variaţia distanţei dintre placă şi ajutaj, se foloseşte dispozitivul de reglare *4*. În timpul funcţionării vibratorului, lichidul trimis de pompă la o presiune de 5—15 at intră în ţeavă şi, după ieşirea din ajutaj, sub forma unui jet elastic plan, se loveşte de partea frontală a plăcii fixate în consolă. Vibraţiile sonore care sînt amplificate de vibraţiile la rezonanţă ale plăcii se transmit mediului înconjurător. Acordul vibratorului se face la fel ca în cazul vibratorului de tip УГИ-Д.

Vibratorul este înzestrat cu un complet de ajutaje cu lăţimea fantei de la 0,5 pînă la 2 mm şi cu un complet de plăci cu grosimea de la 0,5 pînă la 2 mm. El radiază un spectru de vibraţii elastice cu energia maximă la o frecvenţă de circa 5 kHz; intensitatea vibraţiilor este de 1—2 W/cm^2.

Vibratorul hidrodinamic УГИ-Ц cu dispozitiv rezonant în formă de placă (fig. 6.16) se compune dintr-o ţeavă la capătul căreia se fixează ajutajul 7. În dreptul ajutajului este fixat un dispozitiv vibratoriu rezonant de forma plăcii plane *1*, fixată în centru pe riglele de ghidare 8. Riglele sînt prevăzute cu mai multe găuri de fixare, care asigură posibilitatea fixării plăcii în diferite

locuri de pe rigle. În plus, pe ţeavă s-a prevăzut un dispozitiv de reglare pentru deplasarea pe orizontală a ajutajului. Reglarea distanţei necesare între ajutaj şi placă se realizează prin rotirea unei manete cuplate cu dispozitivul de reglare.

În timpul funcţionării vibratorului lichidul este trimis în ţeavă de la o pompă cu presiunea de 5—15 at şi, ieşind din ajutaj, se ciocneşte de placă. Vîrtejurile care se formează sînt amplificate datorită vibraţiilor la rezonanţă ale plăcii. La vibratorul УГИ-Ц, această placă este fixată în centru, iar vibraţiile care se formează la un capăt al plăcii provoacă vibraţii la capătul opus al acesteia. Ca rezultat are loc o creştere a suprafeţei radiante şi o mărire a randamentului vibratorului.

Vibratorul este prevăzut cu un complet de ajutaje avînd lăţimea fantei de la 0,5 pînă la 1,55 mm şi cu un complet de plăci cu grosimea de la 0,5 pînă la 2 mm. El radiază un spectru de vibraţii elastice cu energia maximă la frecvenţa de 2 kHz şi cu o intensitate pînă la 1—2 W/cm^2.

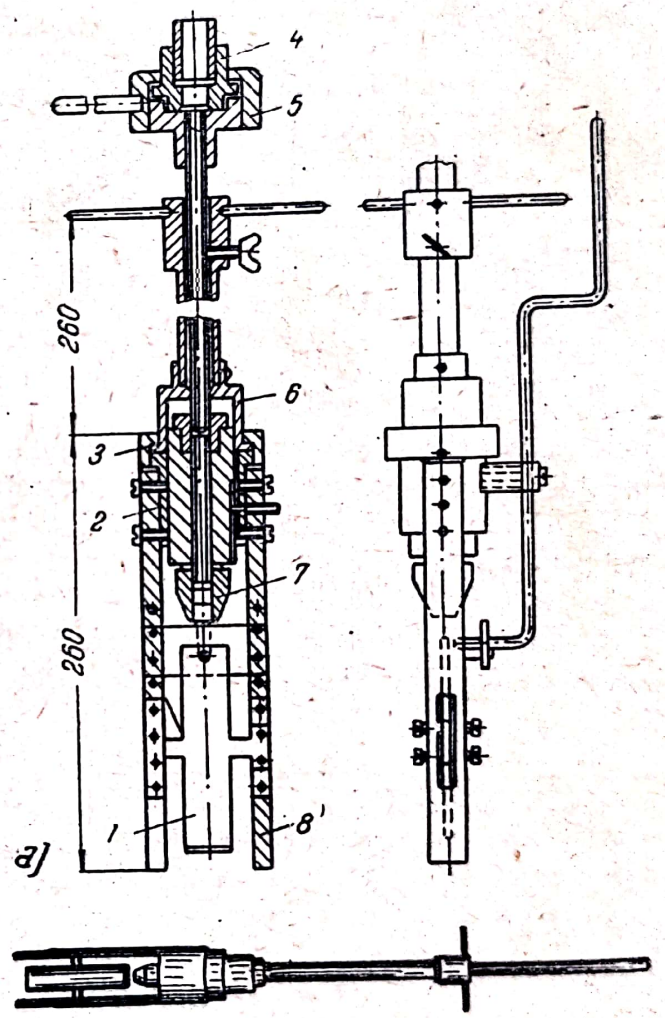


Fig. 6.16. Vibrator hidrodinamic УГИ-Ц:
a — schema vibratorului; *b* — aspectul exterior.

Vibratorul hidrodinamic УГИ-*C* (fig. 6.17) se compune din ţeava *4* care se termină cu ajutajul circular *3*, placa reflectantă *1* şi dispozitivul vibratoriu rezonant *2* de forma unor bare fixate la capete şi avînd în centru nişte ieşituri ascuţite. Dispozitivul rezonant are pereţii laterali prevăzuţi cu găuri filetate pentru înşurubarea, într-o parte, a ţevii cu ajutajul, iar în cealaltă — a plăcii reflectante.

Vibratorul funcţionează în modul următor: lichidul care soseşte de la pompă cu o presiune de 5—20 at ajunge prin ţeavă în ajutaj şi, ieşind din acesta, este îndreptat cu ajutorul plăcii reflectante, sub forma unui jet „în evantai", spre ieşiturile barelor dispozitivului rezonant. Reglînd distanţa dintre ajutaj şi placa reflectantă, se obţine o grosime diferită a jetului de lichid care iese.

Prin deplasarea concomitentă a ajutajului şi a plăcii se dirijează jetul de lichid în formă de evantai exact pe muchia ieşiturilor barelor. Vibraţiile elastice care apar ca rezultat al vîrtejurilor din lichid sînt amplificate de vibraţiile la rezonanţă ale barelor şi în mediul care înconjoară vibratorul se transmit vibraţii elastice. După reglarea mărimii fantei şi a poziţiei ei în raport cu ieşiturile de pe bare, se cufundă vibratorul în lichid şi se caută ca funcţionarea

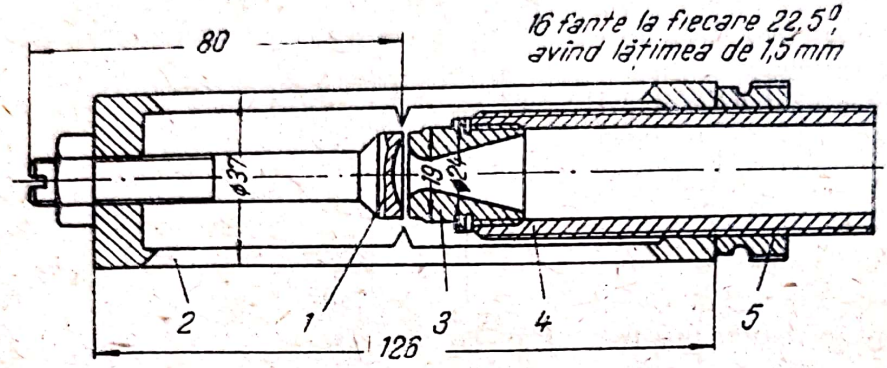


Fig. 6.17. Vibrator hidrodinamic УГИ-С:

barelor să aibă loc pe frecvenţa de rezonanţă. În acest caz se măsoară valoarea presiunii sonore maxime produse de vibrator. Printre avantajele vibratorului УГИ-С se menţionează posibilitatea asigurării unei distribuţii circulare a sunetelor radiate. Vibratorul radiază un spectru de vibraţii elastice cu energia maximă la o frecvenţă de 4—8 kHz şi o intensitate pînă la 1—2 W/cm^2.

Vibratorul hidrodinamic cu vîrtejuri УГИ-*В* (fig. 6.18) se compune din camera de formă conică *1* cu canale de intrare 2 pentru lichid, dispuse tangenţial, şi uneori cu placa reflectantă 3, prevăzută cu dispozitivul de reglare *4*. La capătul camerei conice există porţiunea liniară 5. În timpul funcţionării vibratorului, lichidul trimis de pompă cu o presiune de 8—15 at, pătrunde în cameră prin canalele de intrare amplasate tangenţial; ca urmare, curentul de lichid capătă o mişcare de rotaţie. În acelaşi scop se folosesc uneori dispozitive cu elice. Cînd curentul de lichid se deplasează de la partea largă spre partea îngustă a camerei conice, viteza de rotaţie a lichidului creşte conform legii conservării momentului cantităţii de mişcare. La ieşirea lichidului din partea îngustă a camerei se formează vîrtejuri care produc vibraţii elastice intense în mediul ce înconjoară vibratorul. Vibratorul УГИ-В radiază un spectru de vibraţii elastice. Energia

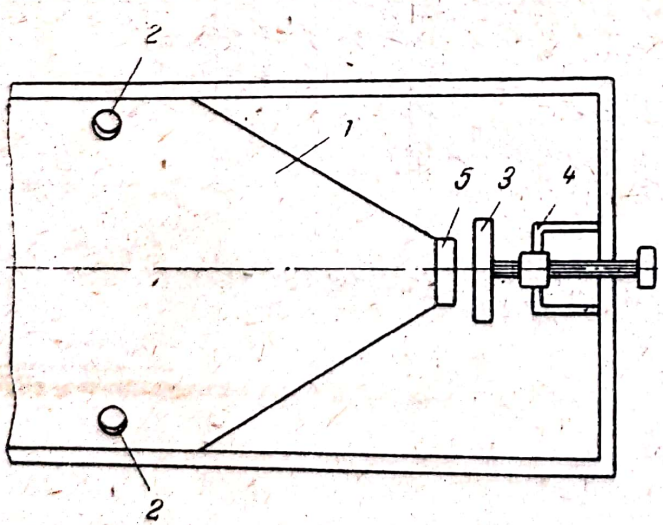


Fig. 6.18. Vibrator hidrodinamic УГИ-В.

maximă a sunetelor radiate revine frecvenţelor de 10—15 kHz, pentru o intensitate de peste 1—2 W/cm^2.

Un dezavantaj al traductoarelor hidrodinamice constă în astuparea fantei înguste a vibratorului de către impurităţile în stare solidă care există în lichidele supuse prelucrării. Pentru a se evita acest lucru, trebuie să se introducă în conducta de alimentare dispozitive de filtrare speciale. Cele mai bune s-au dovedit a fi dispozitivele cu reţea metalică. În condiţii industriale se foloseşte sistemul de funcţionare în paralel a mai multor vibratoare, în care lichidul este trimis de o singură pompă puternică. Se poate lucra şi conform altei scheme, făcînd lichidul să treacă succesiv — de cîteva ori — prin mai multe vibratoare.

Avantajele principale ale traductorului hidrodinamic constau în faptul că la acesta energia mecanică se transformă direct în energia unor vibraţii mecanice elastice; de aceea, dispare necesitatea de a se folosi generatoare electronice. În afară de aceasta, traductoarele hidrodinamice asigură o amestecare bună a substanţei iradiate şi, în timpul funcţionării lor, toate particulele lichidului trec prin zona de acţiune maximă a ultrasunetelor.

6.3. TRADUCTOARE MECANICE CU EXCENTRIC

Principiul de funcţionare al traductoarelor mecanice cu excentric constă în următoarele: un dispozitiv cu excentric, rotit cu mare viteză de un motor electric, produce vibraţii elastice ale unei piese metalice: un cilindru, o lamă sau o placă, care constituie un fel de vibrator ce transmite aceste vibraţii în mediul înconjurător.

Industria sovietică fabrică mai multe tipuri de traductoare mecanice cu excentric. În tabela 6.5 sînt date principalele caracteristici ale celor mai răspîndite traductoare de acest fel.

Principiul de funcţionare al traductoarelor cu excentric indicate în tabela 6.5 este identic. Ele se deosebesc unul de altul prin forma lor constructivă, frecvenţa vibraţiilor elastice şi amplitudinea acestora. Acest ultim factor

TABELA 6.5

Denumirea	Tipul	Puterea motorului vibratorului kW	Frecvenţa vibraţiilor Hz	Amplitudinea vibraţiilor mm
Vibrator superficial	И-7	0,4	46	0,5
Vibrator de adîncime cu arbore flexibil	И-21А	1,0	116	0,5
Vibrator de frecvenţă înaltă	И-86	1,5	200	0,5
Vibrator scufundat	БПМ	7,0	30	3—4
Dispozitiv cu excentric al unei mori vibratoare	—	20,0	50	1—2
Aparat de vibrare	ВА-70	1,0	50	1—20

este foarte important la alegerea tipului de traductor cu excentric, pentru o anumită utilizare practică. De obicei, cu cît amplitudinea vibraţiilor traductoarelor cu excentric este mai mare, cu atît aceste vibraţii acţionează mai eficace asupra procesului respectiv.

Transmiterea vibraţiilor elastice de la traductorul cu excentric în aparatajul industrial, de pildă într-un aparat pentru procesele de prelucrare cu lichide a materialelor, se realizează fie datorită montării dispozitivului cu excentric direct pe fundul sau pereţii aparatului (în acest caz vibrează întregul aparat), fie pe o placă specială, care este cufundată în lichidul ce umple aparatul.

La primul tip constructiv, traductorul cu excentric, acţionat de un motor electric, este cuplat rigid — prin intermediul unei tije — cu vasul de reacţie, care vibrează — ca urmare a acestui fapt — cu o frecvenţă diferită. Frecvenţa vibraţiilor se reglează prin variaţia turaţiei, iar amplitudinea vibraţiilor — prin variaţia corespunzătoare a excentricităţii traductorului. La al doilea tip de traductor, care transmite vibraţiile elastice în interiorul vasului de reacţie, traductorul este cuplat cu o placă amplasată în lichidul turnat într-un rezervor. Vibraţiile elastice de la această placă se transmit soluţiei supuse prelucrării. Dintre avantajele traductoarelor cu excentric trebuie să se menţioneze simplitatea exploatării lor şi costul relativ redus, iar dintre dezavantaje — frecvenţa limitată a vibraţiilor elastice, care de obicei nu depăşeşte 100—200 Hz. În plus, funcţionarea vibratoarelor cu excentric este totdeauna legată de un anumit zgomot în încăperea respectivă şi de necesitatea de a se lua măsuri pentru preîntîmpinarea transmiterii acestor vibraţii pereţilor clădirii şi echipamentului învecinat. În ultimul timp, pentru combaterea acestor deficienţe ale traductoarelor cu excentric au început să fie folosite cu succes fel de fel de amortizoare de cauciuc şi cu resort.

Aşadar, vibraţiile sonore şi ultrasonore intense obţinute de la sursele artificiale dau posibilitatea de a transmite, în interiorul unui mediu material, vibraţii mecanice de energie foarte mare; în acest caz în mediul respectiv, îndeosebi dacă este vorba de un lichid, apar noi fenomene, care sînt folosite în practică.

Utilizarea tehnologică a vibraţiilor elastice de frecvenţă sonoră şi ultrasonoră asigură o mare eficacitate în procese ca curăţirea cu ultrasunete a impurităţilor grase şi a pastelor de polizare, îndepărtarea zgurei, funinginei aderente şi a produselor de coroziune, prelucrarea mecanică a materialelor care se prelucrează greu (sticlă, ceramică, aliaje dure, ferite, germaniu etc.), intensificarea proceselor chimice şi electrochimice, a proceselor de prelucrare cu lichide şi a multor altor procese tehnologice din industria chimică, uşoară şi alimentară, obţinerea unor emulsii şi dispersarea suspensiilor, lipirea şi cositorirea aluminiului, sudarea cu ultrasunete a materialului în formă de table, inclusiv metalele care se sudează greu ş.a.

Aplicaţiile atît de vaste ale ultrasunetelor în diferite ramuri ale economiei naţionale au necesitat realizarea unui aparataj tehnologic special cu ultrasunete. Deşi unul dintre elementele principale ale acestui aparataj este un traductor cu ultrasunete oarecare, dintre cele descrise în partea a doua a

cărţii, specificul utilizării lor tehnologice a dus la crearea unui aparataj tehnologic cu ultrasunete specializat, capabil să efectueze un proces tehnologic anumit, sau o serie întreagă de procese diferite.

Întrucît, riguros vorbind, nu există nici o diferenţă de principiu între aparatajul folosit, de pildă, pentru obţinerea emulsiilor în industria uşoară sau în construcţia de maşini s-a făcut încercarea de a se sistematiza acest aparataj nu în funcţie de domeniile lui de utilizare în economia naţională, ci în funcţie de procesele fizico-chimice care au loc în diverse medii, şi anume:

1) aparataj tehnologic cu ultrasunete pentru funcţionarea în medii lichide;
2) aparataj tehnologic cu ultrasunete pentru funcţionarea în medii solide;
3) aparataj tehnologic cu ultrasunete pentru funcţionarea în medii gazoase.

Scanned with OKEN Scanner

PARTEA A TREIA

Aparataj tehnologic cu ultrasunete

CAPITOLUL 7

APARATAJ TEHNOLOGIC CU ULTRASUNETE PENTRU FUNCȚIONAREA ÎN LICHIDE

7.1. DESTINAȚIA ȘI PRINCIPALELE CONDIȚII IMPUSE APARATAJULUI TEHNOLOGIC CU ULTRASUNETE PENTRU FUNCȚIONAREA ÎN LICHIDE

Condițiile de radiație a unor vibrații elastice de frecvență sonoră și ultrasonoră într-un lichid sînt mult mai favorabile decît, de pildă, într-un mediu gazos. Puterea acustică medie radiată de o suprafață vibratorie, avînd dimensiunile mai mari decît lungimea de undă are valoarea:

$$W = \frac{S \rho C V^2}{2} \text{ [erg/s]},$$

unde S este aria suprafeței vibratorului, cm^2;
ρC — rezistența acustică a mediului, Ω;
V — viteza de vibrație a suprafeței vibratorului, m/s.

Rezistența acustică a unui lichid, de exemplu a apei, este de 3 500 ori mai mare decît a aerului; de aceea, pentru o valoare dată a vitezei de vibrație, puterea acustică totală radiată de vibrator va fi mult mai mare pentru lichide decît pentru mediile gazoase.

Această împrejurare a făcut ca ultrasunetele să fie folosite cu cel mai mare succes tocmai în procesele legate de starea lichidă a reactivilor. Aici se încadrează utilizarea ultrasunetelor în procesele de obținere a emulsiilor și de dispersare a suspensiilor, precum și utilizarea lor pe scară largă pentru procesele eterogene de prelucrare cu lichide: degresarea, spălarea și curățirea materialelor și pieselor metalice și nemetalice, accelerarea proceselor de prelucrare cu lichide în industria ușoară, alimentară și chimică, intensificarea proceselor electrochimice, eliminarea ruginei, împiedicarea formării pietrei pe cazane etc.

Din marele număr de fenomene de dispersie cunoscute, în diversele ramuri ale industriei sînt folosite cel mai mult procesele de dispersie a unui lichid într-un lichid (formarea unei emulsii) și de dispersie a unor particule

solide într-un lichid (obținerea unor suspensii puternic dispersate — pigmenți, coloranți, tot felul de pulberi etc.).

Metodele de dispersare folosite în prezent în industrie, care implică utilizarea unor mori vibratoare, unor mori coloidale, instalații de emulsionat și alte aparate, asigură obținerea unor suspensii și emulsii cu dimensiunile particulelor nu mai mici decît cîțiva microni, în timp ce pentru vopsirea materialelor sintetice de pildă, și pentru alte scopuri, este necesar să se aibă la dispoziție suspensii cu dimensiunile particulelor mai mici decît un micron. Instalațiile de emulsionat folosite oferă posibilitatea obținerii a tot felul de emulsii; în majoritatea cazurilor, însă, acestea sînt puțin stabile și se stratifică repede, deoarece dimensiunile particulelor sînt suficient de mari.

În plus, utilizarea morilor coloidale, a morilor vibratoare, a instalațiilor de emulsionat și a altor aparate are în multe cazuri o productivitate mică și este legată de un volum mare de muncă și un consum apreciabil de energie electrică.

Dezavantajele amintite pot fi evitate în mare măsură folosind vibrații ultrasonore pentru procesele de dispersie. Cu ajutorul ultrasunetelor se reușește să se obțină suspensii puternic dispersate și emulsii stabile. În categoria proceselor de dispersare cu ultrasunete poate fi încadrat și procesul de electroliză cu ultrasunete.

Pentru procesele de dispersare cu ajutorul ultrasunetelor există o serie de parametri fizico-chimici și tehnici, cei mai favorabili de care trebuie să se țină seama la construirea unei instalații și în timpul exploatării acesteia. Astfel, dacă dispersarea se face cu ultrasunete, se obțin rezultate optime dacă se utilizează ultrasunete cu frecvența cuprinsă între 5 și 50 kHz; în acest caz, cu cît intensitatea vibrațiilor elastice este mai mare, cu atît rezultatele obținute sînt mai bune. Dacă dispersarea se face în soluții de apă, temperatura optimă pentru realizarea procesului va fi de circa 60°C, în cazul utilizării unor solvenți volatili (de tip benzol, alcool și alții)— de circa 16°C, iar atunci cînd se lucrează cu soluții alcaline — de circa 80°C. Realizarea procesului de dispersare cu ultrasunete este influențată favorabil de porcesele de cavitație și, pentru ușurarea apariției acestora, se folosește barbotarea — prin soluție — a unei cantități mici de aer, abur sau un gaz inert oarecare. Obținerea emulsiilor și dispersarea suspensiilor cu ajutorul ultrasunetelor se realizează în niște aparate speciale. Pentru filtrarea suspensiilor, în ultimul timp au început să se folosească filtre cu ultrasunete. Ultrasunetele își găsesc aplicații și pentru intensificarea unei serii întregi de procese eterogene de prelucrare cu lichide (spălare, curățire, vopsire, tăbăcire, impregnare etc.). Procesele eterogene de prelucrare cu lichide, menționate mai sus, se caracterizează prin faptul că procesele fizico-chimice specifice lor sînt întovărășite, la limita de separație a fazelor, de anumite fenomene marginale, care influențează viteza de desfășurare a acestor procese. La trecerea unei substanțe dintr-o fază în alta, ea trebuie întotdeauna să treacă printr-un strat marginal care se găsește la suprafața de separație și, din această cauză, mărimea și proprietățile acestui strat marginal au o mare importanță pentru viteza proceselor eterogene. Ameste-

carea intensă a unui lichid prin diferite mijloace mecanice face ca grosimea efectivă a stratului marginal de difuzie să se micşoreze întrucîtva şi viteza proceselor se măreşte treptat. După aceea, ea atinge o anumită valoare şi accelerarea ulterioară a amestecării nu mai atrage după sine creşterea vitezei de desfăşurare a proceselor eterogene. Utilizarea vibraţiilor elastice de frecvenţă sonoră şi ultrasonoră duce la o accelerare apreciabilă a proceselor eterogene (datorită distrugerii straturilor marginale) şi în acele cazuri cînd amestecarea mecanică intensă nu dă nici un fel de rezultate.

Pentru accelerarea proceselor eterogene de prelucrare cu lichide cu ajutorul vibraţiilor elastice există anumiţi parametri fizico-chimici şi tehnici de care trebuie să se ţină seama la construirea unui aparat oarecare şi la exploatarea acestuia. Astfel, spre deosebire de acţiunea ultrasunetelor asupra proceselor de dispersare, folosirea vibraţiilor elastice pentru accelerarea proceselor eterogene dă rezultate practic identice atît atunci cînd se utilizează vibraţii sonore de joasă frecvenţă (în cazul unei amplitudini mari a vibraţiilor), cît şi în cazul în care se recurge la vibraţii ultrasonore.

Utilizarea pe scară largă a vibraţiilor elastice în diverse procese eterogene de prelucrare cu lichide a dus la crearea unui mare număr de tipuri diferite de aparataj tehnologic cu ultrasunete. Acest aparataj poate fi împărţit în două categorii principale: instalaţii cu ultrasunete montate în aparatajul tehnologic existent în întreprinderi şi agregate speciale cu ultrasunete. În toate aceste instalaţii şi agregate unul dintre principalele elemente este un traductor cu ultrasunete din cele descrise în partea a doua a cărţii. Drept vibratoare se folosesc, pe scara cea mai largă, vibratoare electromagnetice, magnetostrictive, piezoelectrice (din titanat de bariu) şi hidrodinamice.

În funcţie de dimensiunile aparatajului tehnologic şi de volumul de material supus prelucrării, se utilizează unul sau mai multe vibratoare, iar în conformitate cu aceasta se folosesc generatoare de putere adecvată. Mai jos se prezintă descrierea mai multor instalaţii şi agregate folosite în procesele în care reactivii sînt în stare lichidă.

7.2. INSTALAŢII CU ULTRASUNETE MONTATE ÎN APARATAJUL TEHNOLOGIC EXISTENT

a) Instalaţii magnetostrictive cu ultrasunete

Pentru montarea în aparatajul tehnologic existent la întreprinderi se folosesc de cele mai multe ori vibratoarele magnetostrictive tip pachet de tole. Se utilizează de asemenea şi vibratoare tip bară. În mod obişnuit, aceste vibratoare se introduc în interiorul aparatajului tehnologic, de exemplu într-un cazan de aburi pentru a se împiedica formarea pietrei pe pereţii acestuia. În acest caz se folosesc una sau mai multe bare, legate în direcţie longitudinală, sau concentric. Pentru mărirea suprafeţii radiante, pe partea frontală a barei se lipeşte adesea o placă. Uneori se utilizează un dispozitiv care leagă bara magnetostrictivă cu suprafaţa aparatului însuşi: capac, fund, perete etc. Bara se va

fixa pe suprafața aparatului și formează împreună cu ea un singur întreg (prin urmare, însăși suprafața va vibra). Pentru a se evita supraîncălzirea care apare datorită curenților turbionari, instalația poate fi răcită cu un înveliș de apă sau prin orice alt procedeu. Cîteodată nu se alcătuiește din bare toată suprafața vibratorie, ci se împarte această suprafață în mai multe secții de dimensiuni mai mici (fig. 7.1) legate între ele în așa fel, încît vibrațiile lor să aibă loc în fază. În acest scop, toate barele trebuie să aibă frecvențe proprii aproximativ identice. Un capăt al fiecărei bare este legat de suprafața unei secții; bobinajele de excitație ale barelor se leagă în serie sau în paralel.

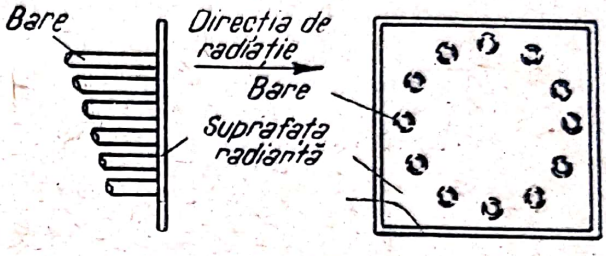


Fig. 7.1. Vibrator magnetostrictiv complex cu mai multe bare.

Pentru funcționarea cu volumuri mari se poate utiliza un vibrator mai complicat, care se compune dintr-un mare număr de vibratoare magnetostrictive în formă de bară, introduse în niște bobine și legate în serie sau în paralel. Pe o diafragmă de oțel cu diametrul de circa 400 mm și grosimea de aproximativ 25 mm se fixează simultan, cu un singur capăt, 600 vibratoare magnetostrictive tip bară și chiar mai multe.

În ultimul timp vibratoarele în formă de bară au început să fie folosite din ce în ce mai mult pentru transmiterea vibrațiilor ultrasonore în formă de impulsuri în interiorul cazanelor și reactoarelor, pentru îndepărtarea și împiedicarea formării pietrei și reziduurilor. Aceasta se realizează în mod obișnuit cu ajutorul unor dispozitive speciale arătate în fig. 7.2. Un dispozitiv de

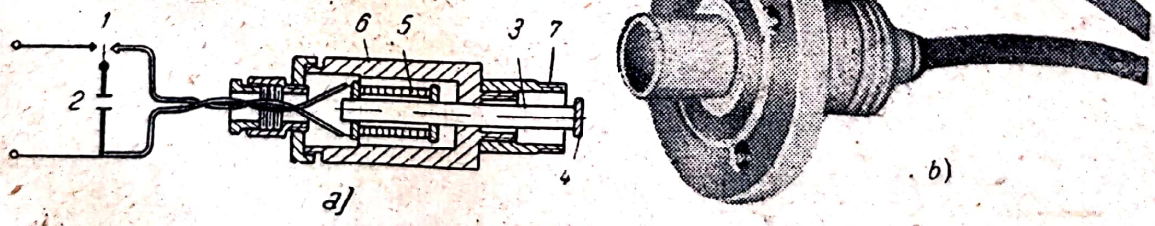


Fig. 7.2. Dispozitiv pentru introducerea unui vibrator ultrasonor în formă de bară într-un reactor:

a — schema dispozitivului; *1* — întreruptor de curent; *2* — condensator (acumulator de energie electrică); *3* — vibrator magnetostrictiv tubular din aliaj de nichel; *4* — disc de oțel fixat de capătul vibratorului; *5* — bobina de excitație prin care circulă impulsuri de curent cu frecvența de 28 kHz; *6* — carcasă de bronz; *7* — piuliță pentru fixarea vibratorului pe cazanul de abur; *b* — aspectul exterior al dispozitivului.

acest fel se introduce în interiorul cazanului sau reactorului, așa cum se arată în fig. 7. 3, și se alimentează de la generatoarele de impulsuri descrise mai înainte.

În afară de vibratoarele magnetostrictive în formă de bară, în aparatajul tehnologic existent în întreprinderi se utilizează și vibratoare inelare tip pachet.

Scanned with OKEN Scanner

De cele mai multe ori vibratoarele inelare tip pachet sînt folosite ca o parte componentă a conductei unui sistem tehnologic, sau în instalațiile de dispersie cu ultrasunete. În acest scop, în întreruperi ale conductei prin care circulă lichidul supus prelucrării se montează vibratoare inelare, al căror diametru interior este egal cu diametrul interior al conductei. Un exemplu de realizare constructivă a unui asemenea sistem este arătat în fig. 7.4.

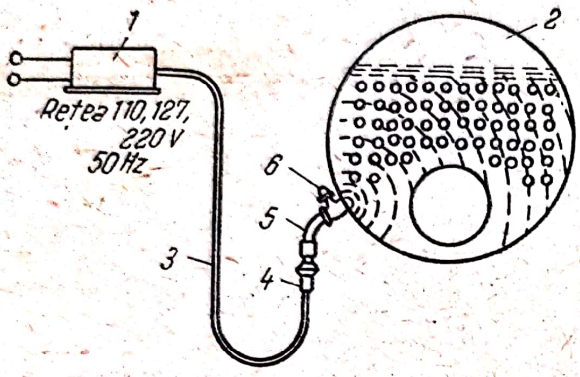


Fig. 7.3. Schema introducerii unui vibrator cu ultrasunete într-un cazan de aburi:
1 — generator de impulsuri; 2 — cazan de aburi; 3 — cablu; 4 — vibrator magnetostrictiv; 5 — ghid de sunete; 6 — supapă.

În dispozitivele cu ultrasunete montate în aparatajul tehnologic existent în întreprinderi se folosesc pe scara cea mai largă vibratoare magnetostrictive tip pachet. Aceste vibratoare sînt utilizate în dispozitive de tip portabil (fig. 7.5), sau se montează direct în interiorul aparatului în care are loc reacția respectivă. În primul caz vibratorul este introdus în interiorul aparatelor și cu ajutorul mînerului, este fixat în poziția necesară. Așa se procedează, de pildă, în numeroase cazuri cînd se utilizează ultrasunetele în procesele de depunere electrică a metalelor. Mai des, vibratorul se montează rigid în interiorul aparatului în care are loc reacția.

O asemenea utilizare a vibratoarelor este întîlnită în aparatajul tehnologic de tip cuvă, unde vibratoarele magnetostrictive se montează pe un fund fals al cuvei (fig. 7.6, *a*), sau lateral pe pereții acesteia (fig. 7.6, *b*). În cazul folosirii

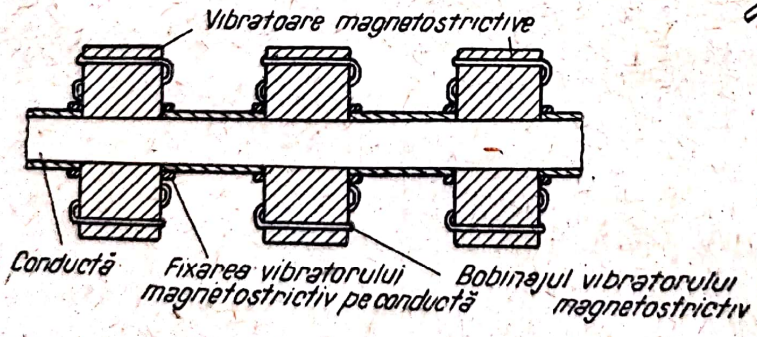


Fig. 7.4. Vibratoare magnetostrictive inelare, de tip pachet de tole, montate pe o conductă.

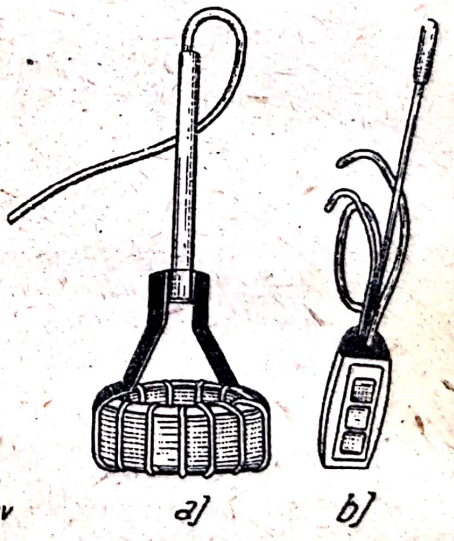


Fig. 7.5. Vibratoare magnetostrictive portative:
a — inelar, tip pachet de tole; *b* — plan, tip pachet de tole.

unor tambure rotitoare suspendate, vibratoarele magnetostrictive se amplasează fie în spirală pe peretele interior al tamburului (fig. 7.7, *a*), fie pe niște console într-o despărțitură specială (fig. 7.7, *b*). Uneori această operație este combinată

cu instalarea unor vibratoare hidrodinamice în același tambur. Fixarea vibratorului însuși, în cazul funcționării bidirecționale, trebuie făcută în nodul de vibrație al vibratorului magnetostrictiv.

Au căpătat răspîndire și dispozitivele (fig. 7.8, *a*) în care vibratorul magnetostrictiv *1* este scos din aparatul tehnologic 2, iar energia ultrasonoră se

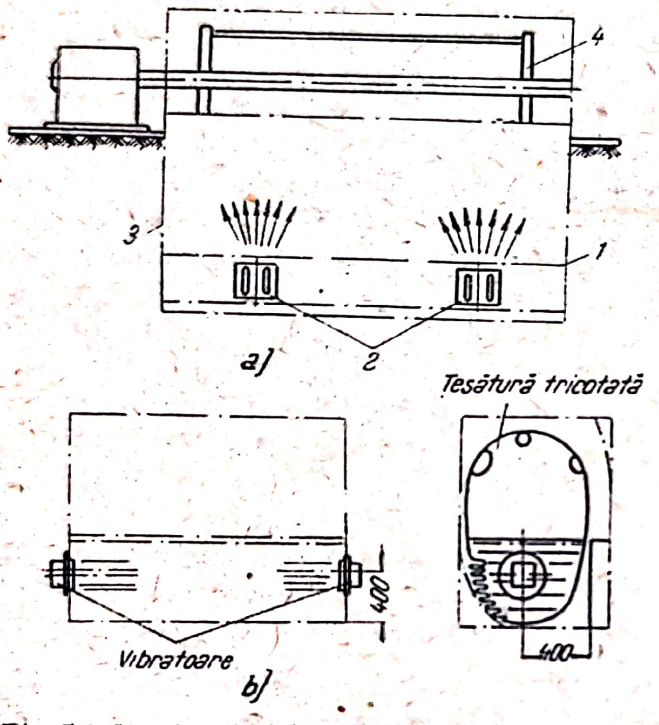


Fig. 7.6. Locul de instalare a vibratoarelor magnetostrictive:

a — pe fundul cuvei; *1* — fund fals; *2* — vibratoare magnetostrictive; *3* — cuvă; *4* — amestecător mecanic; *b* — pe pereții laterali ai cuvei.

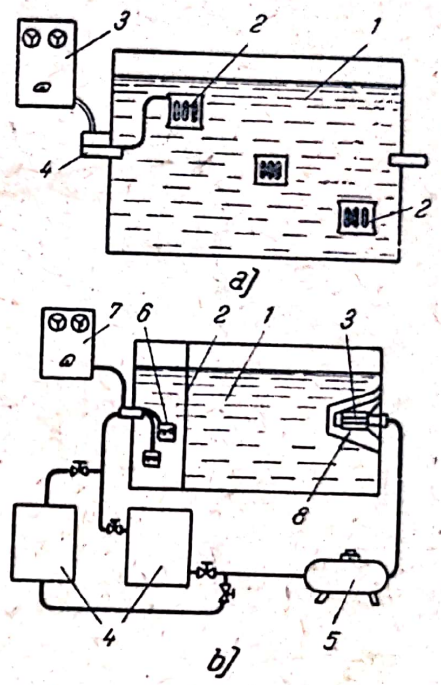


Fig. 7.7. Schema instalării vibratoarelor magnetostrictive în interiorul unui tambur rotativ:

a — așezarea în elice a vibratoarelor; *1* — tambur; *2* — vibratoare magnetostrictive; *3* — generator; *4* — dispozitiv cu contacte; *b* — amplasarea vibratoarelor în compartimente speciale; *1* — tambur; *2* — fund fals; *3* — vibrator hidrodinamic; *4* — filtre; *5* — pompă de mare presiune; *6* — vibratoare magnetostrictive; *7* — generator de impulsuri; *8* — carcasă pentru vibratorul hidrodinamic.

transmite mediului cu ajutorul transformatorului acustic *3* cu plăcuța de adaptare *4* la capăt, sudat de vibratorul magnetostrictiv. La numeroase tipuri (fig. 7.8, *b*), plăcuța de adaptare se sudează direct pe vibratorul magnetostrictiv. Pentru răcire, vibratorul magnetostrictiv scos din vasul de reacție este închis în învelișul 5, prin care circulă apă rece sau ulei rece.

Industria sovietică fabrică diferite tipuri de dispozitive magnetostrictive cu ultrasunete pentru aparataj tehnologic, de exemplu: ПМС, ПМЛ, ВМ și ЧИ Cel mai răspîndit este dispozitivul de tip ПМС. El se compune dintr-un vibrator magnetostrictiv tip pachet închis într-o carcasă prin care circulă apă rece sau ulei rece (există un ștuț de intrare și unul de ieșire).

Vibratorul magnetostrictiv este prevăzut cu un bobinaj, ale cărui capete, printr-un racord special, etanș, sînt scoase în afara carcasei.

În tabela 7.1 sînt date caracteristicile tehnice principale ale diverselor dispozitive de tip ПМС.

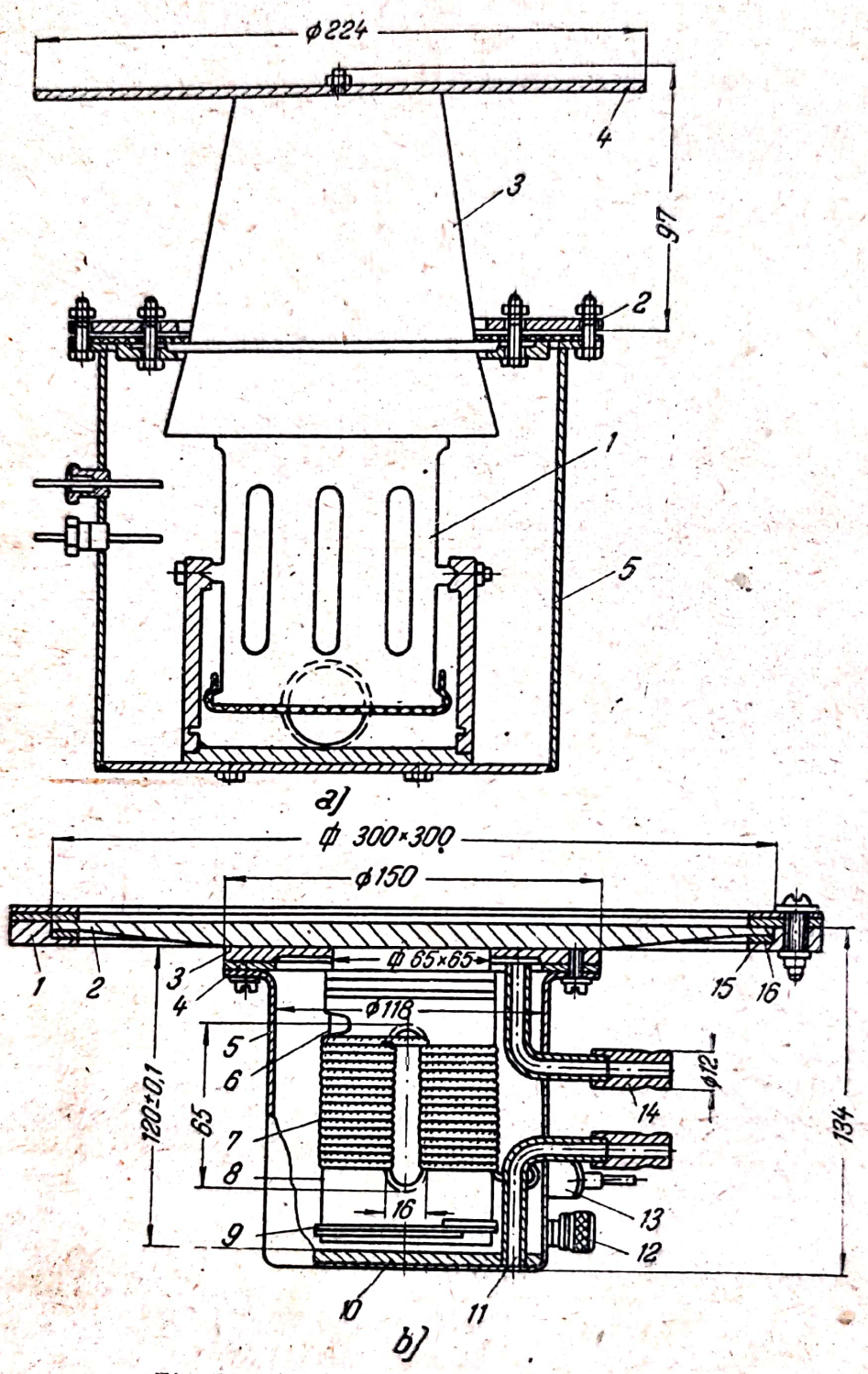


Fig. 7.8. Dispozitiv cu vibrator magnetostrictiv:

a — cu transformator acustic şi plăcuţă de adaptare; *b* — cu plăcuţă de adaptare sudată de vibratorul magnetostrictiv (ПМС-8); *1* — ramă; *2* — transformator de vibraţii elastice; *3* — disc; *4, 16* — garnituri de etanşare din cauciuc; *5* — cutie; *6* — pachet de tole; *7* — bobinaj; *8* — piesă terminală din fibră; *9* — bandaj; *10* — pernă de cauciuc; *11* —ştuţ de intrare; *12* — şurub de legare la pământ; *13* — ieşirea conductorului; *14* — ştuţ de ieşire; *15* — inel de cauciuc.

Scanned with OKEN Scanner

TABELA 7.1

Caracteristici	ПМС-4	ПМС-6	ПМС-8	ПМС-7	ПМС-10	ПМС-12	ПМС-15
Frecvența proprie, kHz	18,5	19—20	19	19,5	22	22	22
Puterea maximă absorbită, kW	3	3	3	2	1,25	0,3	0,3
Dimensiunile suprafeței radiante, mm	300	300×300	300×300	40	100×100	100×100	20
Debitul de apă de răcire, l/min	0,5	0,5	0,5	0,5	0,2	0,1	0,1

Dispozitivele cu ultrasunete pentru intensificarea proceselor fizico-chimice УИ-1 se fabrică în două variante: cu ghid de unde cilindric УИ-1Ц (fig. 7.9, *a*) sau exponențial УИ-1Э (fig. 7.9, *b*).

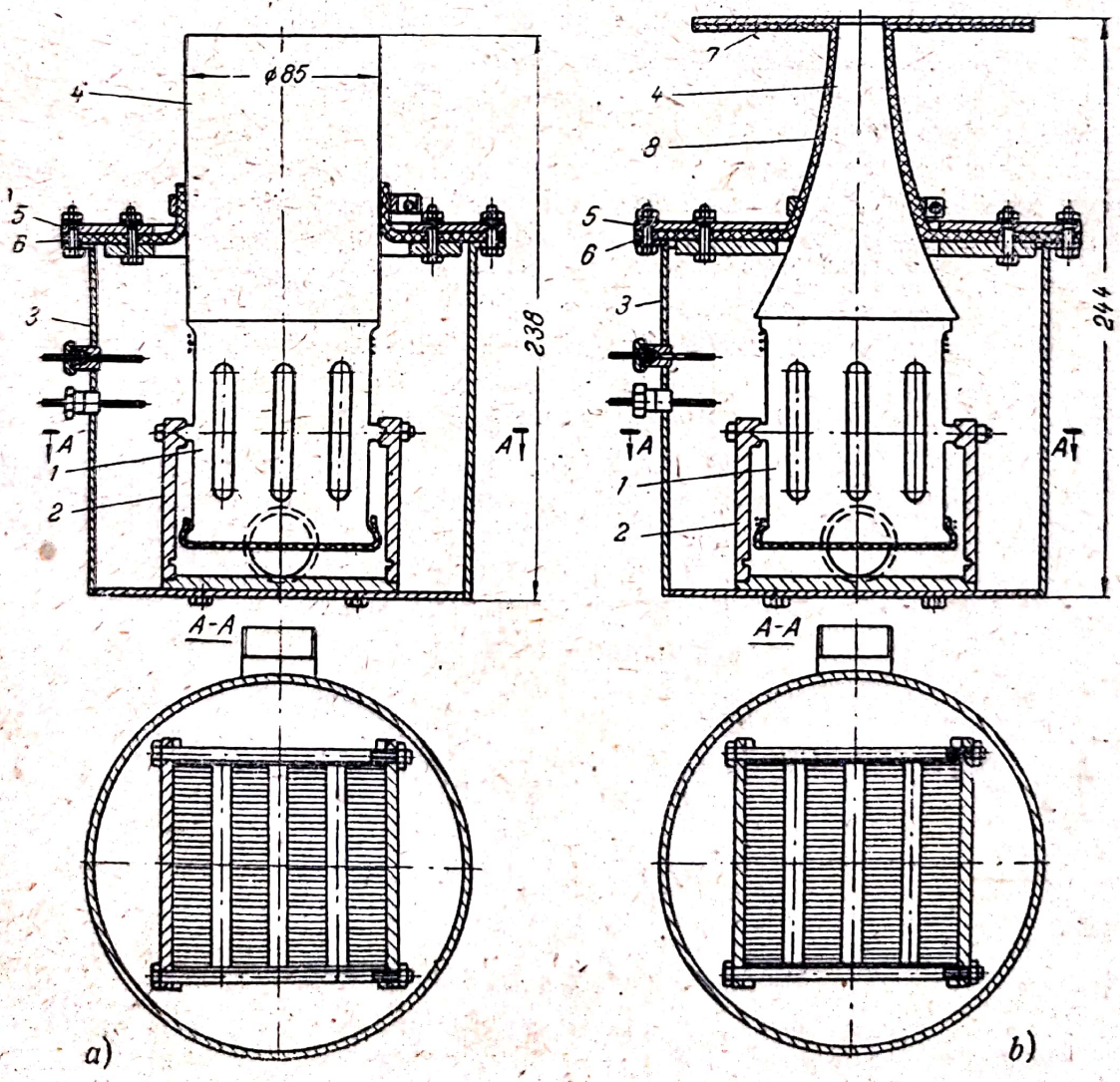


Fig. 7.9. Aspectul general al dispozitivului cu ultrasunete de tip ЧИ 1.

Dispozitivele de intensificare УИ-1 se compun din următoarele părți principale: vibratorul magnetostrictiv cu piesa de fixare 2, carcasa 3 și transformatorul acustic (ghidul de unde) 4. Drept vibrator magnetostrictiv se folosește un vibrator de tip НЭЛ-IV. Fixarea vibratorului magnetostrictiv se face în punctul de zero al vibrațiilor, cu ajutorul unor piese speciale de fixare — tijele în $\lambda/4$, care împiedică transmiterea vibrațiilor în carcasa dispozitivului de intensificare. Carcasa este folosită pentru răcirea, cu un curent de apă a vibratorului magnetostrictiv. În ea există două orificii pentru introducerea și scoaterea lichidului de răcire, patru găuri pentru fixarea tijelor în $\lambda/4$ și două găuri pentru introducerea conductoarelor de alimentare cu energie electrică a vibratorului. Aceste găuri sînt ermetizate pentru a se elimina posibilitatea infiltrării lichidului de răcire prin ele. La partea de sus carcasa este acoperită cu capacul inelar metalic 5 prevăzut cu garnitura de cauciuc 6. În capac s-a făcut un orificiu pentru transformatorul acustic. Pentru asigurarea ermetizării, garnitura de cauciuc este apăsată pe ghidul de unde cu ajutorul unui inel de strîngere.

Diametrul ghidului de unde cilindric se alege în așa fel, încît el să încapă în suprafața radiantă a vibratorului magnetostrictiv. Lipirea lui pe vibratorul magnetostrictiv se face cu aliaj ПОС-40.

Transformatorul acustic al dispozitivului de intensificare УИ-1Э are o generatoare care variază monoton conform unei legi exponențiale. La capătul lui se găsește plăcuța de adaptare 7, calculată în mod special. Peretele lateral al transformatorului acustic din dispozitivul de intensificare УИ-1Э și peretele inferior al plăcii de adaptare sînt lipite cu cauciucul poros 8 pentru a se evita pierderile de energie ultrasonoră.

Dispozitivul de tip МПЛ (fig. 7.10) se compune dintr-un vibrator magnetostrictiv de nichel, de care este lipită direct o diafragmă metalică. Caracteristicile tehnice ale acestui dispozitiv sînt date în tabela 7.2.

Dispozitivele de tip ВМ (fig. 7.11) sînt fabricate în trei variante: ВМО-1, ВМП-1 și ВМП-2. Ele se deosebesc prin destinația lor și prin particularitățile constructive.

TABELA 7.2

Denumirea caracteristicii	Valoarea
Puterea electrică, kW	1,5
Frecvența de lucru, kHz	22,5
Eroarea maximă admisibilă a frecvenței, %	3
Impedanța, Ω	27 ± 10%
Tensiunea de excitație aplicată, V	~250
Tensiunea de premagnetizare, V	3
Curentul de premagnetizare, A	10
Presiunea apei de răcire, at	1,5—2
Debitul apei de răcire, l/min	5
Temperatura maximă admisibilă a apei de răcire la ieșire, °C	50
Dimensiunile de gabarit ale plăcii, mm	260×260
Înălțimea, mm	170
Greutatea, kg	10

Dispozitivul BMO-1 este folosit îndeosebi în aparatajul pentru curățirea pieselor. El se compune dintr-un vibrator magnetostrictiv, un transformator acustic în formă de pîlnie şi o carcasă metalică. Vibratorul este lipit pe baza mică a pîlniei şi produce în lichid un cîmp ultrasonor uniform, care depăşeşte — prin dimensiunile sale — suprafaţa vibratorului însuşi. În nodul de deplasare al transformatorului acustic în formă de pîlnie se găseşte o flanşă pentru fixarea vibratorului în aparatajul tehnologic. Dispozitivul este închis ermetic într-o carcasă metalică. Pentru a se trimite în carcasă apa de răcire se folosesc două ştuţuri. Prin alte două ştuţuri, care se găsesc pe carcasă, se realizează alimentarea vibratorului magnetostrictiv de la un generator de frecvenţă ultrasonoră. Datele principale ale dispozitivului BMO-1 sînt următoarele:

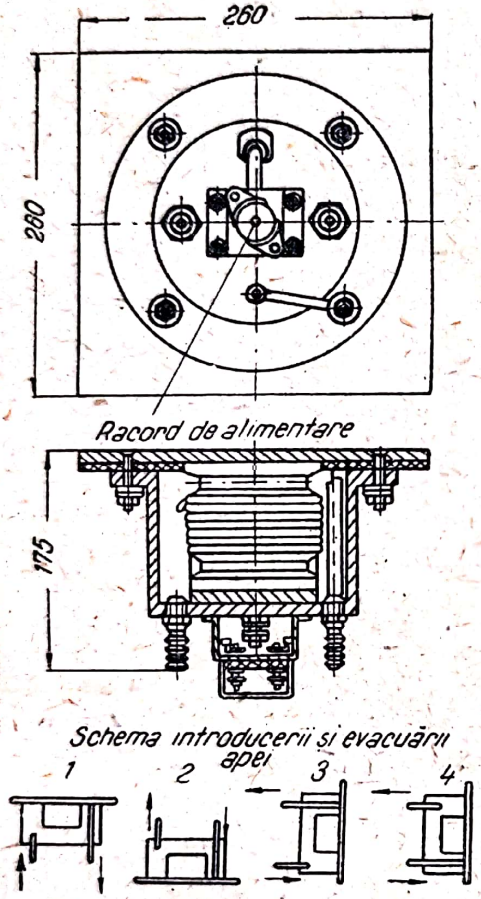


Fig. 7.10. Aspectul general al dispozitivului de tip ПМЛ.

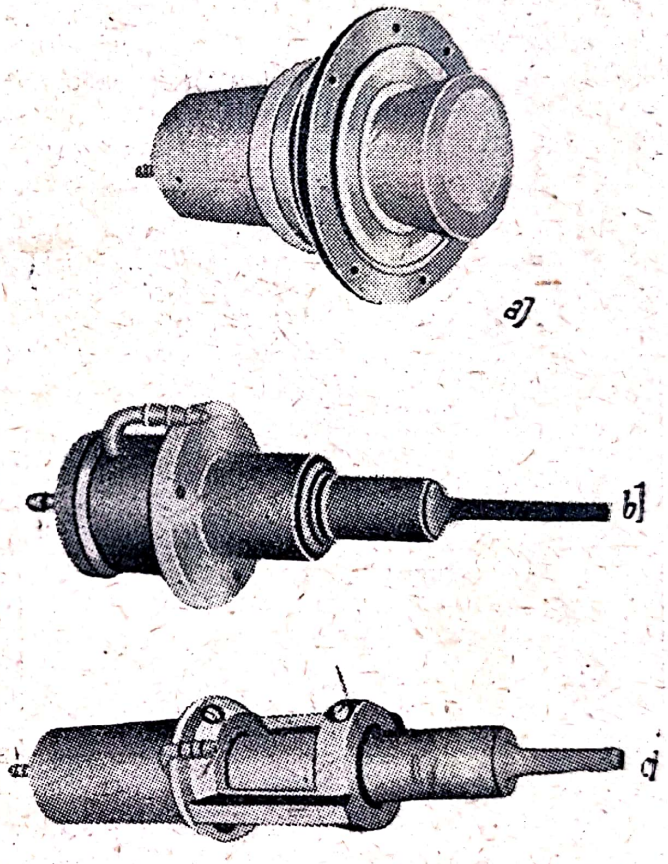


Fig. 7.11. Dispozitive de tip BM:
a — dispozitiv BMO; *b* — dispozitiv BMП-1; *c* — dispozitiv BMП-2.

Frecvenţa de lucru, kHz	20—22
Puterea absorbită, kW	0,6
Numărul de spire ale bobinajului de excitaţie	36
Numărul de spire ale bobinajului de premagnetizare	48
Curentul de premagnetizare, A	7
Suprafaţa radiantă; cm^2	95
Dimensiunile de gabarit, mm	210×294
Greutatea, kg	14

Dispozitivul ВМП-1 este folosit mai ales la maşinile-unelte pentru prelucrarea mecanică. Dispozitivul se compune dintr-un vibrator magnetostrictiv montat într-o carcasă metalică răcită cu apă. Vibratorul este legat de carcasă prin intermediul unui cilindru gol cu lungime egală cu $\lambda/4$. De vibrator este lipită o placă cu o gaură filetată pentru fixarea transformatoarelor acustice de schimb prevăzute cu sculă (sarcina).

Dispozitivul ВМП-2, la fel ca şi dispozitivul ВМП-1, este folosit în special la maşinile-unelte pentru prelucrare mecanică. Acest dispozitiv este alcătuit dintr-un vibrator magnetostrictiv de care este lipit un ghid de unde cilindric şi o carcasă. Ghidul de unde cilindric se fixează pe carcasă în două planuri nodale, cu ajutorul a 6 şuruburi. Pe partea frontală a ghidului de unde există o gaură filetată pentru fixarea transformatoarelor acustice de schimb prevăzute cu sculă (sarcina). Datele principale ale dispozitivelor de tip ВМП-1 şi ВМП-2 sînt date în tabela 7.3.

TABELA 7.3

Parametri	ВПМ-1	ВПМ-2
Frecvenţa de lucru, kHz	17—18	22
Diametrul maxim al piesei prelucrate, mm	30	50
Adîncimea găurilor prelucrate, mm	pînă la 30	pînă la 50
Puterea generatorului care alimentează vibratorul magnetostrictiv, kW	0,5	1—1,5
Curentul continuu de premagnetizare, A	5	7
Rezistenţa bobinei vibratorului, Ω	0,17	0,23
Dimensiunile de gabarit, mm	366 × 104	556×122×116
Greutatea, kg	2,1	12

b) Dispozitive piezoelectrice

În aparatajul tehnologic existent în întreprinderi, se folosesc şi vibratoare piezoelectrice din titanat de bariu, iar uneori şi vibratoare de cuarţ. În acest scop se utilizează vibratoare de titanat de bariu de diverse forme, ca: plăci dreptunghiulare sau rotunde, semisfere, cilindri, sfere etc. Toate acestea se fixează în nişte monturi speciale şi se folosesc de obicei sub forma unor elemente separate. Aceste elemente se montează cîte unul, sau mai multe împreună, în interiorul aparatajului tehnologic. Din asemenea elemente de titanat de bariu semisferice (în formă de albie), de exemplu, se montează instalaţiile transformatoare lungi, pentru spălarea şi degresarea pieselor. Din elemente cilindrice se asamblează dispozitive tubulare lungi din titanat de bariu, prin care poate circula lichidul ce urmează a fi iradiat cu ultrasunete.

Asamblînd aceste elemente standard sub formă de celule şi secţii, se poate obţine o suprafaţă radiantă de forma şi dimensiunile necesare. În numeroase cazuri este indicat ca din elemente standard să se alcătuiască părţi separate ale aparatelor, de pildă capacul, fundul, un perete etc., care în felul acesta devin un fel de vibratoare. Din titanat de bariu se poate confecţiona

direct vasul de reacție și se poate proceda în așa fel, încît vibrațiile ultrasonore radiate de pereții acestui vas să fie dirijate spre interior.

Deoarece puterea vibrațiilor ultrasonore radiate este proporțională cu aria plăcilor, pentru mărirea suprafeței active se folosește un mozaic alcătuit dintr-un mare număr de plăci de tăietură și grosime identice. La reunirea plăcilor sub formă de mozaic, se leagă între ei electrozii fațetelor cu aceeași polaritate. În cazul unui asemenea mod de legare, puterea radiată (cu condiția ca lungimea de undă să fie apreciabil mai mică decît lățimea plăcii) trebuie să crească proporțional cu suma ariilor plăcilor. De exemplu, patru plăci identice trebuie să asigure o putere radiată de patru ori mai mare decît aceea radiată de o singură plăcuță. Dacă plăcile nu au polaritate identică pe una și aceeași parte a vibratorului, sistemul nu va funcționa eficace. Toate suprafețele fațetelor îndreptate spre direcția de radiație trebuie să aibă simultan un potențial fie pozitiv, fie negativ și atunci vibrațiile radiate pe această direcție vor fi în fază. În practică, prin legarea corectă a plăcilor piezoelectrice puterea obținută crește considerabil, dar nu va fi totuși egală cu suma puterilor diverselor plăcuțe.

Reunirea unor elemente separate (plăci) sub formă de secții ale unui mozaic oferă posibilitatea obținerii unei suprafețe radiante mai mari. Se cunosc mozaicuri focalizatoare compuse din plăci de titanat de bariu hexagonale. Dispozitivele focalizatoare de acest fel asigură posibilitatea de a se supune lichidele care urmează a fi prelucrate acțiunii unor ultrasunete de o intensitate excepțional de mare.

După cum s-a arătat mai sus, în cazul cînd trebuie să funcționeze în lichide conducătoare de electricitate, vibratoarele de titanat de bariu sînt acoperite cu un strat de protecție. Rezultate bune dă acoperirea vibratoarelor la început cu un strat de clei БФ-2, iar după aceea cu un strat de clei de policlorură de vinil.

Cînd se lucrează cu vibratoare din titanat de bariu este mai avantajos uneori ca acestea să fie împărțite în porțiuni separate identice ca suprafață, legate în serie din punct de vedere electric și în paralel din punct de vedere acustic.

În cazul unui vibrator în formă de mozaic, această problemă se rezolvă prin simpla legare în serie a diferitelor celule ale mozaicului (alternîndu-se sensul de polarizare) (fig. 7.12, *a*).

Dacă se notează cu n numărul de elemente în care a fost împărțit vibratorul, impedanța lui de intrare va crește în acest caz de n^2 ori, ceea ce permite să se micșoreze curentul aplicat pînă la o valoare admisibilă. Din punct de vedere constructiv, un asemenea vibrator poate fi fabricat sub forma unei plăci separate.

Diferitele variante ale vibratorului „secționat" sînt arătate în fig. 7.12, *b*. Pe vibratorul „secționat" armăturile se depun în așa fel, încît acesta să fie împărțit în mai multe elemente cu aceiași capacitate și două elemente vecine să aibă o armătură comună. În cazul unei asemenea depuneri a armăturilor, toate elementele vibratorului vor fi legate în serie. Din considerente de rigiditate dielectrică și de utilizare optimă a suprafeței vibratorului, valoarea inter-

stiţiului dintre armăturile vecine este luată egală cu grosimea plăcii. Sensul de polarizare a elementelor vibratorului alternează în aşa fel, încît două elemente vecine să fie polarizate în sensuri opuse. În timpul polarizării unui element oarecare, armăturile celorlalte elemente se scurtcircuitează. În cazul cînd există n secţiuni, trebuie ca vibratorul să fie polarizat de n ori.

Polarizarea efectuată prin metoda indicată asigură neutralitatea piezoelectrică a porţiunilor de placă aflate între elemente, ceea ce îngreunează apariţia unor vibraţii parazitare ale plăcii.

În cazul cînd vibratorul de cuarţ piezoelectric trebuie să funcţioneze chiar în vasul de reacţie, umplut cu apă, se poate folosi un element de cuarţ piezoelectric standard, care (singur sau împreună cu alte asemenea elemente) se închide într-o cutie bine cuprată şi etanşă pentru apă. Pentru a se evita

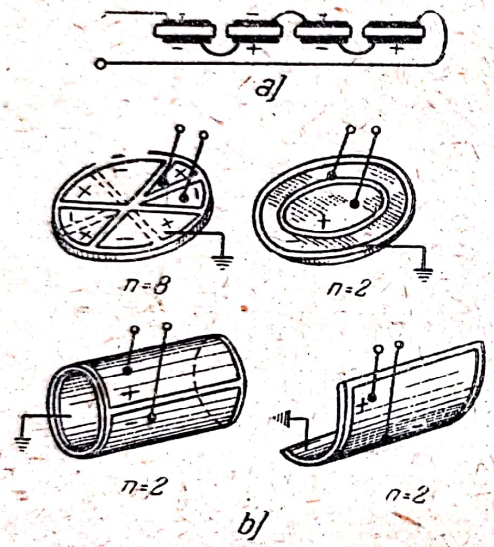


Fig. 7.12. Tipuri de vibratoare secţionate, din titanat de bariu:
a — schema conectării vibratoarelor;
b — schema vibratoarelor secţionate.

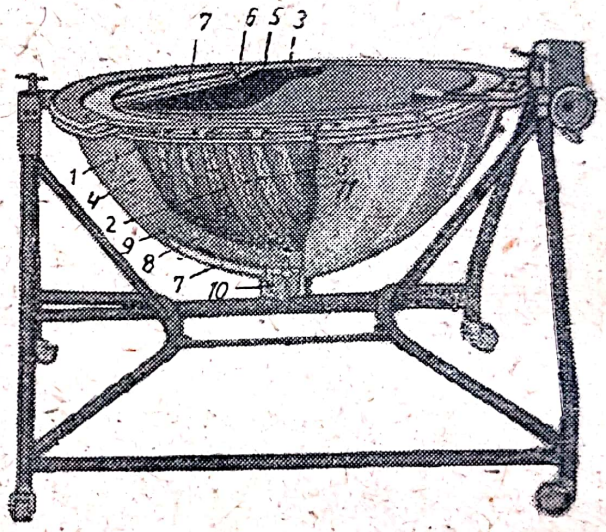


Fig. 7.13. Instalaţia cu mozaic de cuarţ.

conturnarea electrică pe marginile plăcii, cutia este de obicei umplută cu un lichid care posedă proprietăţi izolante foarte bune, de pildă ulei de transformator.

În ultimul timp a fost realizat[1]) un mozaic de cuarţ care asigură obţinerea, în focar, a unei intensităţi a ultrasunetelor de ordinul mai multor kilowaţi pe centimetru pătrat. În această instalaţie, drept vibrator s-a folosit un înveliş de aluminiu în $\lambda/2$, rezonant, de formă sferică şi cu un unghi de deschidere de 70°, excitat din spate de către un mare număr de vibratoare de cuarţ rezonante, de dimensiuni mici, aşezate direct pe el. Această construcţie a vibratorului asigură crearea unei limite de separaţie ermetizate între volumul acustic activ şi volumul în care sînt aşezate vibratoarele de cuarţ aflate sub o tensiune înaltă. Instalaţia funcţionează pe frecvenţa de 500 kHz şi produce, în focar, o intensitate a ultrasunetelor pînă la 6 000 W/cm^2.

[1]) *L. D. Rozenberg şi M. G. Sirotiuk.*

Construcția instalației este arătată în fig. 7.13. Învelișul de aluminiu sferic cu raze interioare de 314 mm este fixat pe margine de flanșa 6. Centrul de curbură al acestui înveliș (focarul vibratorului) se găsește în punctul *0*. Spațiul 5 din interiorul învelișului este umplut cu lichidul de lucru. Pentru izolarea masei principale de lichid de lucru împotriva aerului înconjurător, spre a se evita murdărirea lui, orificiul din flanșă este acoperit cu o peliculă subțire de nylon. Pe flanșă se așază un vas care conține lichidul ce urmează a fi iradiat.

Învelișul de aluminiu radiant este excitat de niște plăcuțe piezoelectrice de cuarț de tăietură *x* și având diametrul de 40 mm, așezate în număr de 200 bucăți, uniform pe suprafața exterioară. Toate plăcile de cuarț 2 sînt șlefuite sferic în conformitate cu raza de curbură a suprafeței exterioare a carapacei de aluminiu, cu care vin în atingere, și sînt apoi apăsate cu ajutorul ecliselor 9 și al șuruburilor *11*. La rîndul lor, șuruburile sînt ținute de barele 8, care constituie concomitent și conductoarele de alimentare cu curent. Toate rețelele sînt legate între ele din punct de vedere electric și sînt alimentate de la un generator de frecvență ultrasonoră de tip УЗГ sau УЗМ, prin izolatorul de trecere *10* care se găsește la partea inferioară a concentratorului. Spațiul *4*, în care sînt amplasate toate piesele ce se găsesc sub tensiune înaltă, este umplut cu ulei electroizolant.

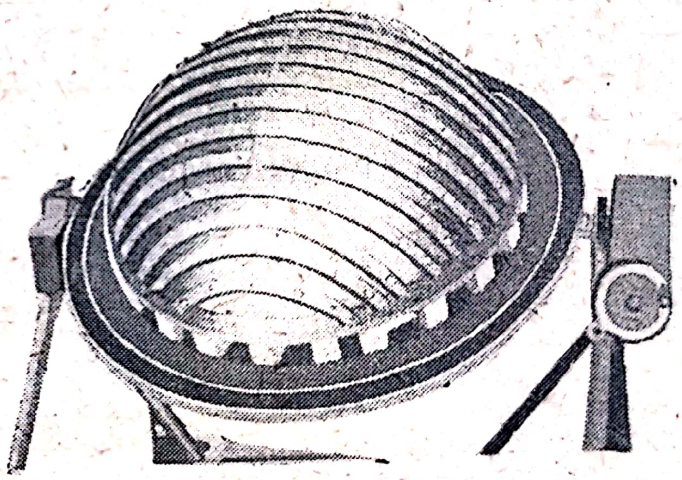


Fig. 7.14. Construcția mozaicului de cuarț.

Pentru mărirea amplitudinii vibrațiilor plăcilor de cuarț între părțile posterioare ale acestora și suprafețele ecliselor 9 există niște perne de aer cu grosimea de 0,2—0,3 mm, formate de bordurile de plumb 3 aflate pe partea din față a eclisei 9. În afară de răcirea naturală efectuată de uleiul care spală plăcile de cuarț și semisfera de aluminiu, care este răcită și pe partea interioară de către lichidul de lucru, s-a prevăzut răcirea forțată cu un curent de apă care circulă prin spațiul 7 dintre pereții dubli ai carcasei concentratorului.

Aspectul exterior al acestei construcții este arătat în fig. 7.14.

c) Dispozitive hidrodinamice și electromagnetice

Pentru realizarea unui proces tehnologic oarecare se folosesc vibratoarele descrise mai sus, care pot fi amplasate în cavitatea de lucru (de pildă într-un reactor, un tambur suspendat, un aparat cu șurub fără fine, o cuvă etc.), sau această cavitate poate fi legată cu ajutorul unei conducte cu dispozitivul radiant, realizîndu-se circulația soluției de lucru prin acest dispozitiv.

În mod obișnuit, vibratoarele sînt montate pe niște conducte coborîte în interiorul aparatului. Se folosește un singur vibrator sau mai multe vibratoare

în acelaşi timp. Dacă se folosesc mai multe vibratoare, ele se montează pe un fel de „pieptene" (fig. 7.15), care are posibilitatea de a-şi schimba poziţia atît pe verticală, cît şi pe orizontală. Prin aceasta se asigură posibilitatea schimbării direcţiei frontului undelor acustice radiate.

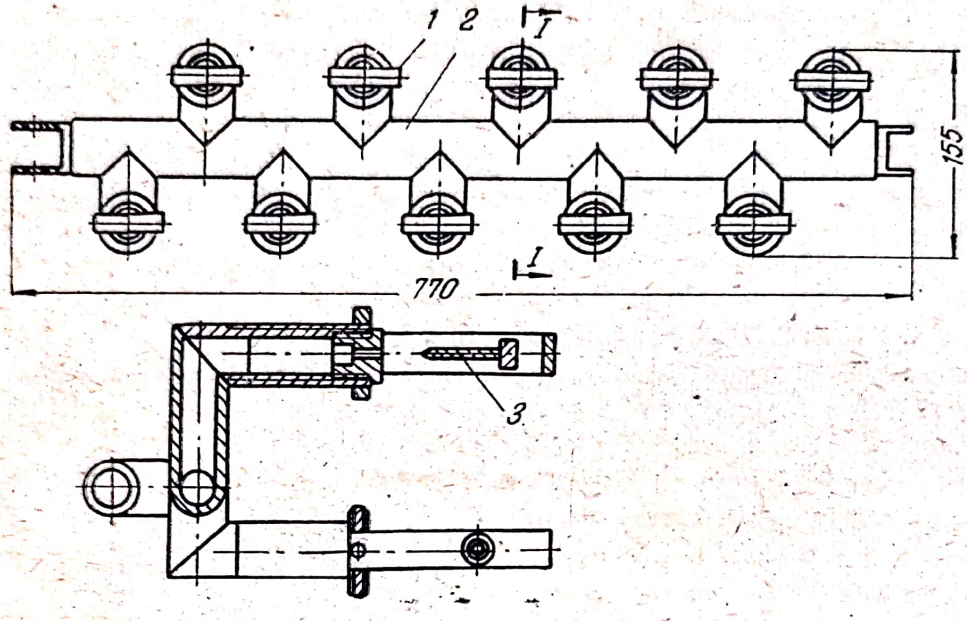


Fig. 7.15. Sistem de vibratoare hidrodinamice:
1 — vibratoare; *2* — conductă; *3* — plăcuţă vibratoare.

În ultimul timp îşi găsesc aplicaţie tipuri de vibratoare hidrodinamice amplasate pe lăţimea întregului material supus prelucrării, de pildă o ţesătură lată.

La aceste tipuri de vibratoare, ajutajele sînt montate pe o ţeavă comună, iar dispozitivele vibratorii rezonante de forma unor plăci sînt montate pe o placă comună.

Vibratoarele electromagnetice se montează şi ele în aparatajul tehnologic existent în întreprinderi. Una dintre soluţii este ilustrată în fig. 7.16. Vibratoarele electromagnetice *1* se fixează pe o ramă specială *2* de-a lungul materialului *4* care se desfăşoară pe rolele *3* (de pildă o pînză ţesută). Vibratoarele şi materialele sînt cufundate în rezervorul 5 care conţine soluţia. Alimentarea vibratoarelor se face prin intermediul unor conductoare de la o reţea de curent alternativ de 127/220 V. În cazul cînd lăţimea materialului este de circa 1 500 mm, se folosesc 4—5 vibratoare electromagnetice.

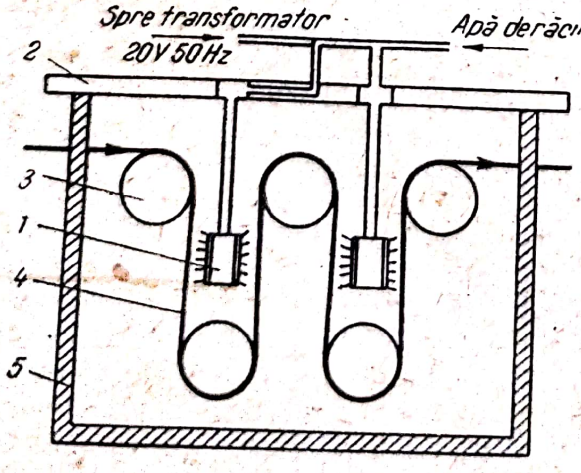


Fig. 7.16. Schema instalării vibratoarelor electromagnetice într-o cuvă.

7.3. INSTALAȚII SPECIALE CU ULTRASUNETE

a) Date generale

În funcție de existența unor elemente de mecanizare și automatizare, instalațiile speciale cu ultrasunete destinate să funcționeze în lichide pot fi împărțite în două grupe: băi și agregate. O grupă separată este constituită din instalațiile de dispersie cu ultrasunete care sînt folosite pentru obținerea emulsiilor și dispersarea suspensiilor. În băi, încărcarea și descărcarea se fac manual sau cu ajutorul unor dispozitive dintre cele mai simple, iar în agregate materialul supus prelucrării este amestecat de niște mecanisme speciale. Băile se deosebesc între ele prin dimensiunile de gabarit, forma, numărul de vibratoare montate și modul de fixare al acestora. Vibratoarele pot fi fixate pe fundul sau pereții băii sau pot fi cufundate de sus în jos. De regulă, vibratoarele sînt montate în așa fel în interiorul băii, încît întreaga suprafață radiantă să vină în atingere cu lichidul prelucrat, iar cea exterioară să vină în contact cu o pernă de aer. Prin urmare, energia vibrațiilor ultrasonore poate fi radiată în lichid pe direcția necesară. Dacă se utilizează lichide agresive, se alege un material corespunzător pentru confecționarea băilor.

Pentru prelucrarea cu ultrasunete folosind mijloace de mecanizare se construiesc agregate speciale. Unele dintre acestea servesc la prelucrarea unor piese și materiale de o anumită formă și dimensiuni, altele admit o utilizare suficient de variată. Instalațiile de dispersare cu ultrasunete sînt instalații cu aplicabilitate limitată, care servesc la obținerea emulsiilor și la dispersarea suspensiilor. Ele pot funcționa independent sau pot fi combinate cu alte aparate. Mai jos se descriu mai multe băi, agregate și instalații de dispersare cu ultrasunete, folosite în industrie pentru operații tehnologice cu lichide.

b) Băi cu ultrasunete

Băile cu ultrasunete de tip УЗВ)[1] sînt folosite cel mai larg în industria sovietică. Băile din seria УЗВ se deosebesc între ele prin numărul de vibratoare, așezarea acestora și modul lor de fixare. În băile cu un singur vibrator, suprafața acesteia servește drept fund pentru baie. În băile cu volum mare, pe fundul sau într-un perete al băii se montează mai multe vibratoare. În băile УЗВ se folosesc de obicei vibratoare magnetostrictive ПМС, de care sînt sudate transformatoare acustice de diferite secțiuni.

Fixarea vibratoarelor în baie poate fi rigidă sau flexibilă. În cazul fixării rigide, marginea vibratorului este strînsă între două garnituri din cauciuc microporos, care — datorită elasticității — nu afectează funcționarea vibratorului și, în același timp, constituie un mijloc de etanșare sigur. În cazul cînd mai multe vibratoare sînt așezate aproape unul de altul, este indicat ca ele să fie montate pe o placă comună. Uneori, vibratoarele constituie chiar fundul băii (fig. 7.17). Fundul băii poate fi constituit și din mai multe vibratoare,

[1]) Realizate de *Iu. Kitaigorodski* și colaboratorii lui.

legate între ele. Astfel, patru vibratoare aşezate aproape unul de altul formează o suprafaţă radiantă de forma unui dreptunghi cu dimensiunile 300×1 200 mm. Este posibilă şi o altă amplasare, de pildă sub forma unui pătrat cu latura de 600 mm. Dacă aria suprafeţei radiante trebuie să fie încă şi mai mare, pe placă se montează suplimentar mai multe vibratoare, pe lîngă cele patru. Pentru amplasarea apropiată se folosesc de obicei vibratoare ПМС-8 prevăzute cu transformatoare acustice, de forma unor plăci de adaptare dreptunghiulare. Dacă în baie există însă numai un singur vibrator ПМС4, transformatorul acustic este de forma unei plăci de adaptare rotunde.

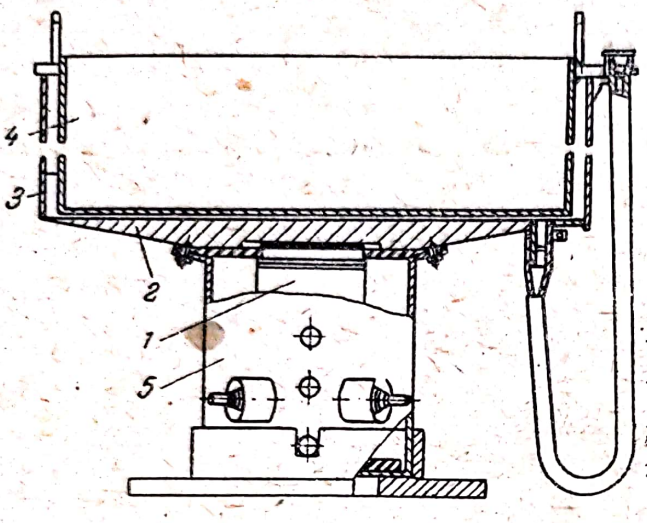


Fig. 7.17. Baia cu ultrasunete УЗВ-2, cu vibrator ultrasonor montat pe fund:
1 — vibrator magnetostrictiv ПМС; *2* — plăcuţa de adaptare a vibratorului, care constituie fundul vasului; *3* — vas; *4* — vas interior din material necorosiv; *5* — cămaşă pentru răcirea vibratorului magnetostrictiv.

Marginile băii se fixează cu ajutorul unor garnituri de etanşare din cauciuc sau se sudează direct de transformatorul acustic, prin sudură electrică (electrod de tip ЭAl, sîrmă marca Cs-0×18H9).

În cazul fixării flexibile a vibratorului, transformatorul acustic este tivit pe întregul lui perimetru cu un material elastic, de obicei cauciuc. Datorită acestui fapt, vibraţiile de încovoiere ale transformatorului acustic nu se amortizează şi puterea utilă debitată de vibrator atinge valorile maxime.

Drept material pentru construirea băilor se foloseşte cauciuc şi oţel inoxidabil 1×18H9T, care posedă o mare rezistenţă la coroziune (un grad pe scara de 10 grade) şi o rezistenţă cu totul satisfăcătoare faţă de cavitaţie.

În băile confecţionate din oţel inoxidabil cu garnituri de etanşare din cauciuc rezistent la acţiunea acizilor şi bazelor se poate efectua prelucrarea cu ultrasunete în soluţii slab concentrate de baze şi acizi (sulfuric, ortofosforic etc.). Pentru funcţionarea cu acid clorhidric, azotic şi fluorhidric, a căror acţiune provoacă o distrugere rapidă a băilor, se folosesc băi duble, adică în interiorul băii cu ultrasunete se introduce o altă baie din viniplast, în care are loc procesul de prelucrare necesar (fig. 7.17). În acest caz apar pierderi de energie ultrasonoră şi durata procesului de prelucrare devine de 1,5—2 ori mai mare decît atunci cînd nu se foloseşte baia interioară din viniplast.

Se fabrică mai multe modele de băi cu ultrasunete de tip УЗВ şi anume: УЗВ-1, УЗВ-2, УЗВ-3, УЗВ-4, УЗВ-5.

Construcţia băii УЗВ-2 cu vibrator magnetostrictiv ПМС-6 a fost arătată în fig. 7.17.

Baia УЗВ-1 cu fund rotund avînd diametrul de 300 mm, în care vibraţiile sînt produse de un vibrator ПМС-4, este construită în mod analog.

Baia УЗВ-3 cu două vibratoare ПМС-6 așezate aproape unul de altul posedă o suprafață de radiație de forma unui dreptunghi cu laturile 300×600 mm. Baia УЗВ-4 (fig. 7.18) cu patru vibratoare ПМС-6 are o suprafață radiantă cu dimensiunile 300×1.200 mm. În aceste băi, cînd se curăță piese în soluții care provoacă coroziune, se folosesc de asemenea băi interioare din viniplast. În cavitatea interioară, vibrațiile ultrasonore sînt excitate prin intermediul apei care umple spațiul dintre baia interioară și cea exterioară. Vibratoarele montate pe fundul băii sînt răcite cu un curent de apă. Pentru prelucrarea din două părți, cu ultrasunete, a materialelor și pieselor în formă de corpuri de rotație, se folosește baia УЗВ-5. În aceasta vibratoarele ПМС-6 sînt fixate pe pereții ei laterali. Pereții băii sînt de cauciuc și datorită acestui fapt se poate varia distanța dintre vibratoare și unghiul dintre planurile suprafețelor radiante. În timpul rotației piesei, suprafețele supuse prelucrării trec succesiv prin zona de acțiune a vibrațiilor ultrasonore.

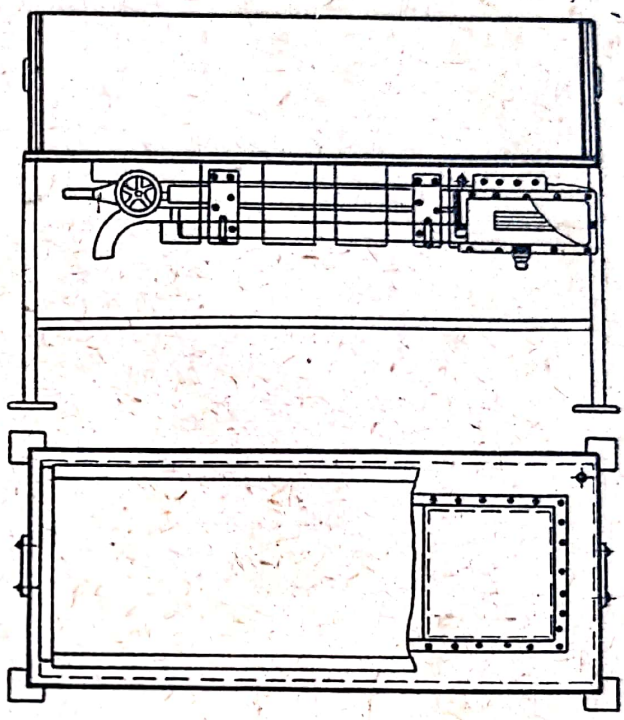


Fig. 7.18. Baie cu ultrasunete de tip УЗВ-4.

În tabela 7.4 sînt indicate tipurile de băi УЗВ cu vibratoare ПМС, folosite în prezent.

În momentul de față începe fabricarea băilor cu ultrasunete de tip УЗВ ermetizate (vezi tabela 7.5).

Noua serie de băi УЗВ-15—УЗВ-18 se deosebește de cele descrise mai înainte (seria УЗВ-1—УЗВ-5) prin folosirea unei ventilații cu tiraj, realizată cu ajutorul unor orificii laterale de evacuare, a unor carcase cu izolație fonică și cu capace de blocare. În plus, multe alte perfecționări ușurează curățarea și deservirea echipamentului.

Băile din noua serie se disting între ele prin numărul de surse de vibrații ultrasonore, realizate cu vibratoare magnetostrictive, prin dimensiuni, precum și prin folosirea unor sisteme de încălzire sau răcire a lichidului folosit pentru spălare.

TABELA 7 4

Tipul băilor	Tipurile și numărul vibratoarelor
УЗВ-1	Un vibrator ПМС-4
УЗВ-2	Un vibrator ПМС-6
УЗВ-3	Două vibratoare ПМС-6
УЗВ-4	Două vibratoare ПМС-6
УЗВ-5	Patru vibratoare ПМС-6

Băile sînt prevăzute cu vibratoare, cu grătare pentru introducerea pieselor care urmează a fi curățite, cu un capac cu izolație fonică, cu un

TABELA 7.5

Parametri	Tipul băilor			
	УЗВ-15	УЗВ-16	УЗВ 17	УЗВ-18
Numărul vibratoarelor de tip ПМG-6M	1	2	3	4
Aria totală a diafragmelor vibratoarelor, mm	300×300	300×600	300×900	300×1 200
Dimensiunile interioare ale băii, mm				
Lungimea	400	700	1 100	1 400
Lăţimea	400	450	450	450
Înălţimea	200	300	300	300
Înălţimea băii de la fund pînă la capac, mm	270	370	370	370
Capacitatea de lucru a băii, l	35	80	120	150
Aria utilă a oglinzii băii, mm²	310 × 390	370×670	370×960	370×1 250
Puterea absorbită maximă, kW	2,5	5,0	7,5	10,0
Frecvenţa oscilaţiilor, kHz	19—20	19—20	19—20	19—20
Tensiunea alternativă*), V	350—480	350—480	350—480	350—480
Curentul continuu*), A	12—25	12—25	12—25	12—25
Debitul de apă pentru răcirea vibratoarelor, l/min	3	6	9	12
Debitul de apă pentru răcirea băii, l/min	6	8	9	10
Debitul de aer în sistemul de ventilaţie în tiraj, m³/h	350	750	950	1300

*) Valoarea mai mică este indicată pentru regimul mai puţin intens, iar cea mai mare, pentru regimul forţat.

sistem de ventilaţie şi un sistem de încălzire sau răcire a lichidului şi de răcire a surselor de vibraţie.

Băile fabricate prin sudare sînt confecţionate din tablă de oţel inoxidabil 1X18H9T, iar pe fundul lor sînt montate sursele de vibraţii ultrasonore. Fundul este prevăzut de asemenea cu un orificiu de scurgere a lichidului.

Vibratoarele montate într-o baie au parametrii aproximativ identici; frecvenţele lor proprii diferă cu cel mult 100 Hz.

Coşurile pentru introducerea pieselor care urmează a fi curăţite sînt confecţionate din oţel inoxidabil şi se folosesc în soluţii alcaline în apă. Pentru curăţirea pieselor în solvenţi organici se pot folosi tot coşuri de alamă. În cazul cînd acestea sînt confecţionate prin mijloace proprii, trebuie să se aleagă dimensiuni cît mai mari posibil ale ochiurilor, deoarece o reţea deasă atenuează acţiunea vibraţiilor ultrasonore.

Carcasele cu izolaţie fonică confecţionate din tablă de oţel servesc la micşorarea nivelului zgomotelor care apar în timpul funcţionării vibratoarelor (mai ales datorită cavitaţiei din lichid) şi simultan constituie un înveliş decorativ. Capacele carcaselor sînt duble: cele interioare sînt confecţionate din oţel inoxidabil, iar cele exterioare — din oţel obişnuit.

Scanned with OKEN Scanner

Folosirea unor garnituri de cauciuc și a unor închizătoare care asigură o etanșare bună mărește eficacitatea izolației fonice atunci cînd capacele sînt închise. Datorită utilizării unor contragreutăți, efortul necesar pentru ridicarea capacelor nu depășește 7 kgf.

Instalația de ventilație (orificiile laterale de evacuare) se găsește sub capac și este așezată de-a lungul laturii lungi a băii. Deasupra acestei instalații, pe întreg perimetrul băii, se așază un cozoroc. Țevile pentru legarea la sistemul de ventilație al secției respective sînt scoase pe pereții posteriori ai carcaselor băilor.

Pentru încălzirea sau răcirea lichidelor (în funcție de condițiile de curățire, de dimensiunile băilor și de compoziția soluțiilor folosite) se utilizează serpentine din oțel inoxidabil, prin care circulă apă rece (de la instalația de apă) sau caldă (de la un încălzitor de apă exterior). Debitul de apă se reglează cu ajutorul unor ventile. Temperatura lichidului se controlează cu termometre cu mercur.

Sursele de vibrații sînt răcite cu apă de la robinet. Pentru preîntîmpinarea avariilor care pot surveni din cauza opririi circulației apei, care răcește vibratoarele în funcțiune, sau pentru a se evita aplicarea tensiunii cînd nu circulă apa, se folosește un releu ale cărui contacte blochează punerea în funcțiune a generatorului care alimentează vibratoarele.

În afară de băile de tip УЗВ, se fabrică și băi cu ultrasunete de tip BM. Seria de băi de tip BM poate fi împărțită, pe baza principiului de construcție, în două grupe: băi cu capacitatea de la 2,5 pînă la 40 l și băi cu capacitatea de la 60 pînă la 1 000 l.

Băile cu capacitatea de la 2,5 pînă la 40 l sînt niște recipiente de porțelan de diferite capacități, montate pe niște carcase de oțel sudate, de tip mobil (pe roți). Carcasele tuturor băilor din această grupă au dimensiuni identice. Pe fundurile recipientelor de porțelan există deschizături pentru montarea vibratoarelor magnetostrictive. Aspectul exterior al băilor cu capacitatea de la 2,5 pînă la 40 l este arătat în fig. 7.19. Caracteristicile tehnice ale acestor băi sînt date în tabela 7.6. Vibratorul magnetostrictiv al unei băi cu capacitatea de 2,5 l este calculat pentru a fi alimentat de la o instalație УЗМ-0,2, iar vibratoarele pentru celelalte băi din această grupă sînt calculate pentru a fi alimentate de la o instalație УЗМ-1,5.

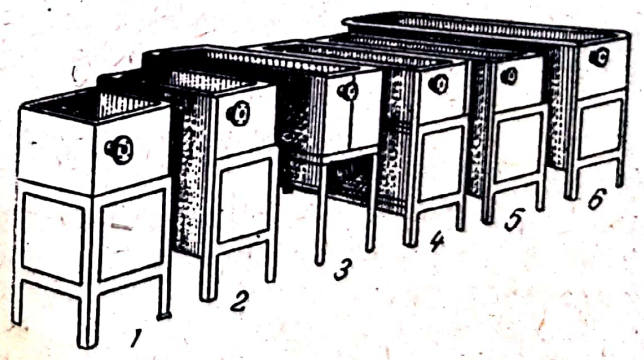


Fig. 7.19. Aspectul general al băilor cu ultrasunete de tip BM cu capacitatea cuprinsă între 2,5 și 40 l.

Băile cu capacitatea de la 60 pînă la 1 000 l servesc la prelucrarea unor produse de dimensiuni mai mari. Ele sînt confecționate din oțel inoxidabil cu

TABELA 7.6

Tipul băilor	Capacitatea spațiului activ	Dimensiunile spațiului activ, mm		Numărul de vibratoare magnetostrictive amplasate pe fund buc.	Puterea unui vibrator magneto-strictiv kW	Tipul generatorului de alimentare
		Înălțimea	Diametrul			
BM—2,5	2,5	180	105	1	0,2	УЗМ—0,2
BM—6	6	200	200	1	1,5	УЗМ—1,5
BM—10	10	250	220	1	1,5	УЗМ—1,5
BM—16	16	250	350	1	1,5	УЗМ—1,5
BM—25	25	300	370	1	1,5	УЗМ—1,5
BM—40	40	350	430	1	1,5	УЗМ—1,5

TABELA 7.7

Numărul băii	Tipul băilor	Capacitatea spațiului activ l	Dimensiunile băii, mm			Numărul de vibratoare magneto-strictive buc.	Tipul pompei de umplere	Tipul generatorului de alimentare
			Lungi-mea	Lăți-mea	Înălți-mea			
1	BM-60	60	400	350	550	1	—	УЗМ-1,5
2	BM-100	100	550	400	580	2	—	УЗМ-3
3	BM-160	160	1 000	400	600	4	—	УЗМ-6
4	BM-250	250	1 050	500	600	4	—	УЗМ-6
5	BM-400	400	1 440	520	600	6	Centrifugă de tip „Kama“	УЗМ-10
6	BM-600	600	1 200	800	650	8	„	УЗМ-6
7	BM-1 000	1 000	1 600	850	740	12	„	УЗМ-30

grosimea de 3 mm. Vibratoarele magnetostrictive sînt amplasate pe fundul băii. Pentru toate băile se utilizează vibratoare cu puterea de 1,5 kW, şi anume de la 1 pînă la 12 bucăţi pentru o baie. Caracteristicile tehnice ale băilor din această grupă sînt date în tabela 7.7.

Băile au un ştuţ de intrare şi unul de ieşire, care servesc la umplerea lor cu lichidul de spălare şi la eliminarea reziduurilor. Pentru accelerarea umplerii băilor mari (cu capacitatea de 600 şi 1 000 l) se folosesc pompe electrice „Kama“. S-a prevăzut posibilitatea instalării în băi a unui dispozitiv pentru vibratoarele magnetostrictive cufundate în lichid pe deasupra. Aspectul general al băii BM-1 000 este arătat în fig. 7.20.

În afară de băile cu ultrasunete cu destinaţie industrială de tipurile УЗВ şi BM, se fabrică o serie întreagă de băi mici pentru funcţionarea cu volume reduse de lichid.

Pentru unele procese de prelucrare cu lichide se folosesc uneori băi cu vibrator electromagnetic (100 Hz), fixat pe o membrană amplasată pe fundul băii. Cîteodată se utilizează instalaţii cu doi electromagneţi cu coloanele de formă conică cu trepte. Fixarea acestora cu membrana se face pe părţile late-

Scanned with OKEN Scanner

rale ale băii, sub un unghi de 90° unul față de altul. Băile sînt prevăzute cu o instalație electrică de încălzire. În unele cazuri este indicat să se combine funcționarea băilor cu vibrații sonore, cu băi care funcționează la frecvență ultrasonoră.

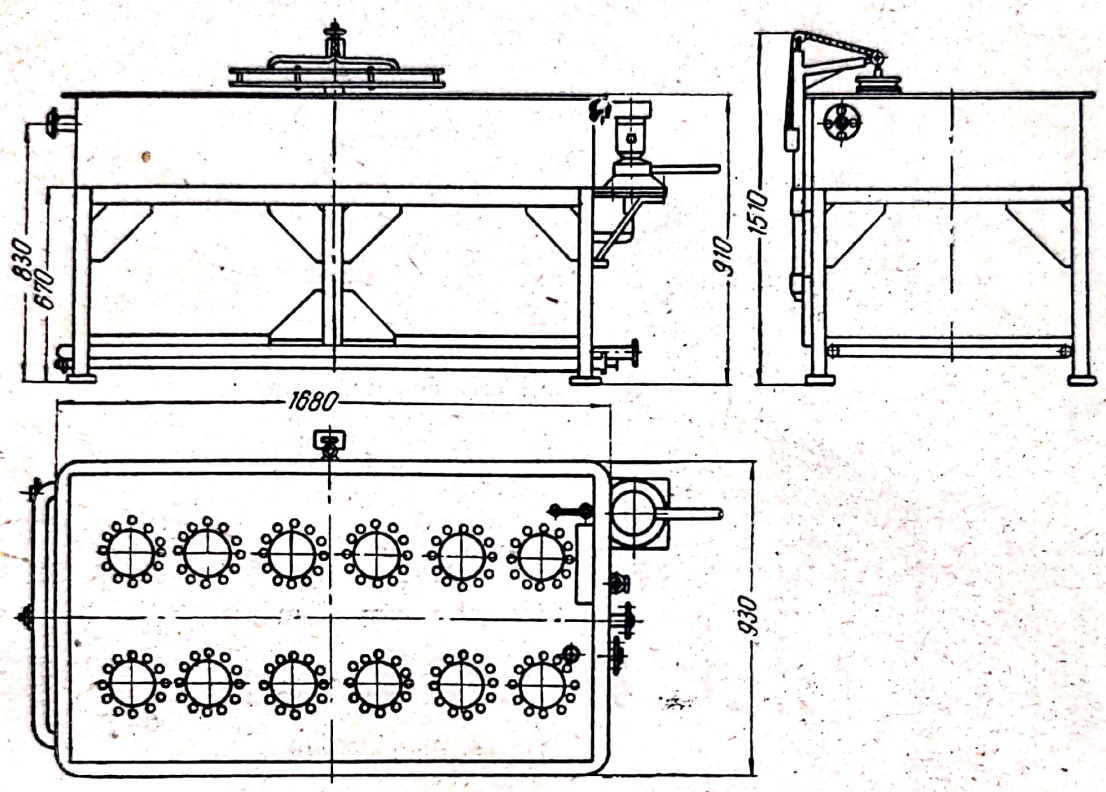


Fig. 7.20. Aspectul general al unei băi cu ultrasunete de tip BM-1 000.

c) Agregate cu ultrasunete

Pentru prelucrarea cu ultrasunete folosind mijloace mecanizate, industria fabrică o serie întreagă de agregate speciale. Deși unele dintre ele execută anumite operații tehnologice, în majoritatea cazurilor ele pot fi utilizate și pentru multe alte procese de prelucrare cu lichide.

În aceste agregate, drept vibratoare se utilizează vibratoare hidrodinamice, magnetostrictive și piezoelectrice. Pînă în ultimul timp au fost folosite în cea mai mare măsură vibratoarele magnetostrictive.

Agregate cu vibratoare magnetostrictive. În industrie se folosesc agregate de tip УЗАГ-1, УЗА-1, УЗА-2 și УЗА-6.

Agregatul УЗАГ-1 (fig. 7.21) accelerează procese de acoperire galvanică (argintare, cuprare, cadmiere etc.) datorită excitației unor vibrații ultrasonore într-un electrolit, ceea ce dă posibilitatea să se mărească de cîteva ori densitatea curentului în timpul depunerii.

Agregatul este alcătuit din una dintre băile cu ultrasunete descrise mai sus, prevăzută cu electrozi și cu aparatajul necesar pentru alimentarea cu ener-

gie electrică şi pentru control. Vibraţiile ultrasonore sînt excitate în electrolit cu ajutorul a două vibratoare magnetostrictive de tip ПМС-6, fixate pe pereţii laterali ai băii.

Vibratoarele sînt alimentate de un generator de tip УЗГ sau УЗМ. Tensiunea se aplică electrozilor de la un redresor înglobat în agregat. Temperatura băii este reglată automat. Amplasarea simetrică a celor doi anozi permite să se obţină atît acoperiri pe o singură parte, cît şi acoperiri pe ambele părţi ale pieselor.

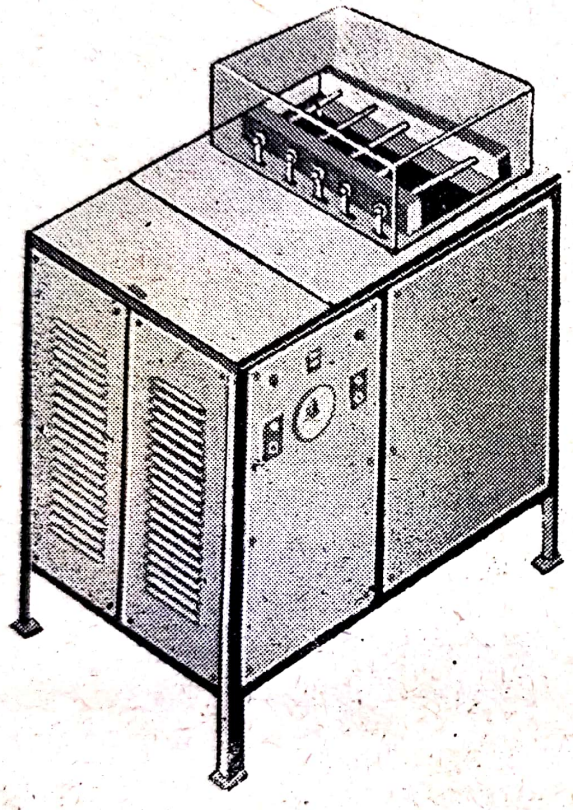


Fig. 7.21. Aspectul general al agregatului УЗАГ-1.

Caracteristicile tehnice ale agregatului УЗАГ-1 sînt următoarele:

Frecvenţa vibratorului, kHz	19,5
Puterea nominală a unui vibrator, kW	2,5
Debitul de apă pentru răcire, l/min	5,8
Presiunea în reţea, at	2—2,5
Dimensiunile băii cu ultrasunete, mm:	
lungimea	560
lăţimea	250
înălţimea	468
Curentul maxim al redresorului, A	200
Limitele de variaţie a tensiunii aplicate electrozilor, V	0—12
Distanţa dintre electrozi, mm	100
Dimensiunile maxime ale produselor supuse prelucrării, mm.	200×200
Dimensiunile de gabarit ale agregatului, mm	1 230×1 070×730
Greutatea, kg	180

Agregatul УЗ А-1 este un agregat cu 6 poziţii, de tip carusel, acţionat semiautomat de un dispozitiv de acţionare pneumatic. El serveşte la curăţarea pieselor mici de petele de grăsime şi de resturile de paste folosite pentru lustruire (de exemplu înaintea depunerii acoperirilor galvanice) şi poate fi utilizat de asemenea pentru o serie întreagă de alte procese de prelucrare cu lichide.

Construcţia agregatului este ilustrată în fig. 7.22. Subansamblurile agregatului sînt montate pe batiul 2. Deplasarea materialelor supuse prelucrării dintr-o poziţie în alta se face pe un dispozitiv de suspensie, în ordinea următoare: ridicarea cu ajutorul cilindrului pneumatic-hidraulic, apoi rotirea cu o poziţie cu ajutorul mecanismului de rotire 6 şi coborîrea. În timpul coborîrii piesele se cufundă în baie unde se realizează diverse stadii ale prelucrării. Durata menţinerii în fiecare baie este stabilită de un releu de timp (între limitele 0,2—6 min) amplasat în pupitrul de comandă. Băile pentru prelucrare

sînt confecționate din oțel inoxidabil de marca 1X18H9T și au dimensiuni de gabarit identice: diametrul de 300 mm și înălțimea de 165 mm.

Compoziția lichidului din fiecare baie se stabilește în funcție de procesul tehnologic. Încărcarea și descărcarea materialelor supuse prelucrării, așezate pe grătarul *10*, sînt efectuate de operator în prima poziție, care este prevăzută cu o măsuță specială. Poziția a doua și a cincea servesc la spălarea preliminară și finală. Băile de spălare *4* au o construcție identică, turnarea făcîndu-se pe la marginea superioară a băii, iar lichidul fiind trimis sub presiune de o instalație de pompare. În aceste băi poate fi montat și un dispozitiv cu acțiune de duș. În pozițiile a treia și a patra se găsesc băi pentru curățirea cu ultrasunete. Pe fundul acestor băi sînt montate vibratoare magnetostrictive de tip ПМС-4, a căror suprafață radiantă (placa de adaptare) are forma unui cerc cu diametrul de 300 mm. Vibratoarele sînt răcite cu apă de la robinet. Poziția a șasea poate fi utilizată pentru clătirea într-un lichid care protejează piesele împotriva corodării. Aici s-a prevăzut turnarea și scurgerea individuală a lichidului.

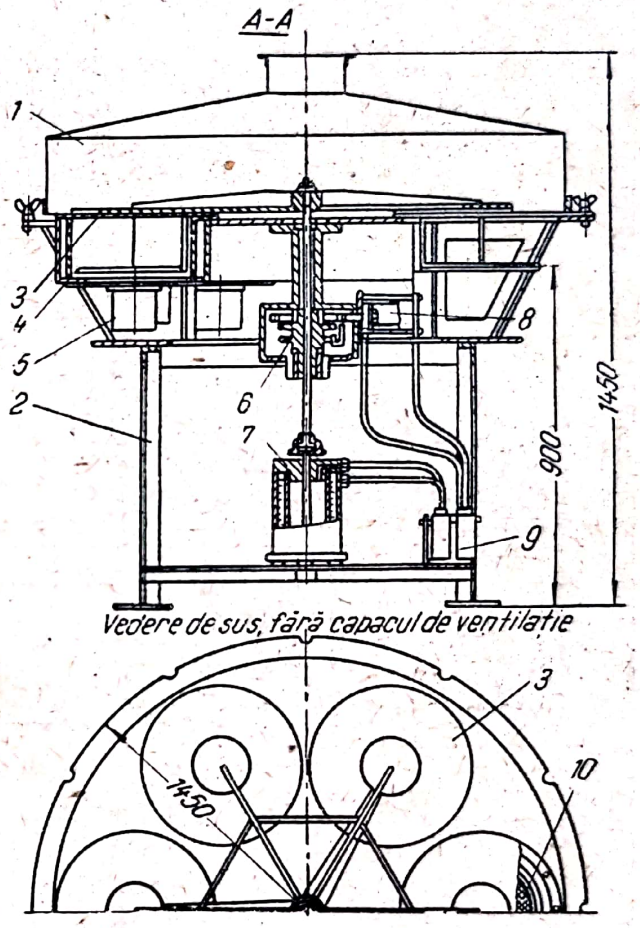


Fig. 7.22. Schemă constructivă a agregatului cu ultrasunete УЗА-1:

1 — capac de ventilație; *2* — batiu; *3* — suport suspendat; *4* — baie; *5* — vibrator; *6* — mecanism de rotire; *7* — cilindru de ridicare pneumatic-hidraulic; *8* — cilindru pneumatic al mecanismului de rotire; *9* — supapă cu dublă acțiune; *10* — coș cu piese.

Pentru îndepărtarea vaporilor, toate băile sînt acoperite cu capacul comun *1* care este pus în legătură cu un sistem de ventilație prin tiraj.

Agregatul УЗА-2 servește îndeosebi la curățirea conductelor de produsele rezultate din cauza corodării. El poate fi însă utilizat și pentru curățirea cu ultrasunete a altor piese. Construcția agregatului este arătată în fig. 7.23.

Baia exterioară a agregatului este făcută din oțel inoxidabil de marca 1X18H9T. Pe fundul acesteia sînt montate patru vibratoare ПМС-6, amplasate unul lîngă altul. Suprafața radiantă are forma unui dreptunghi cu laturile de 300 și 1 200 mm. În baia exterioară prelucrarea poate fi efectuată în apă sau în soluții care nu provoacă o corodare intensă prin cavitație a oțelului inoxidabil. Cînd se lucrează cu soluții care au acțiune intensă, se folosește o baie

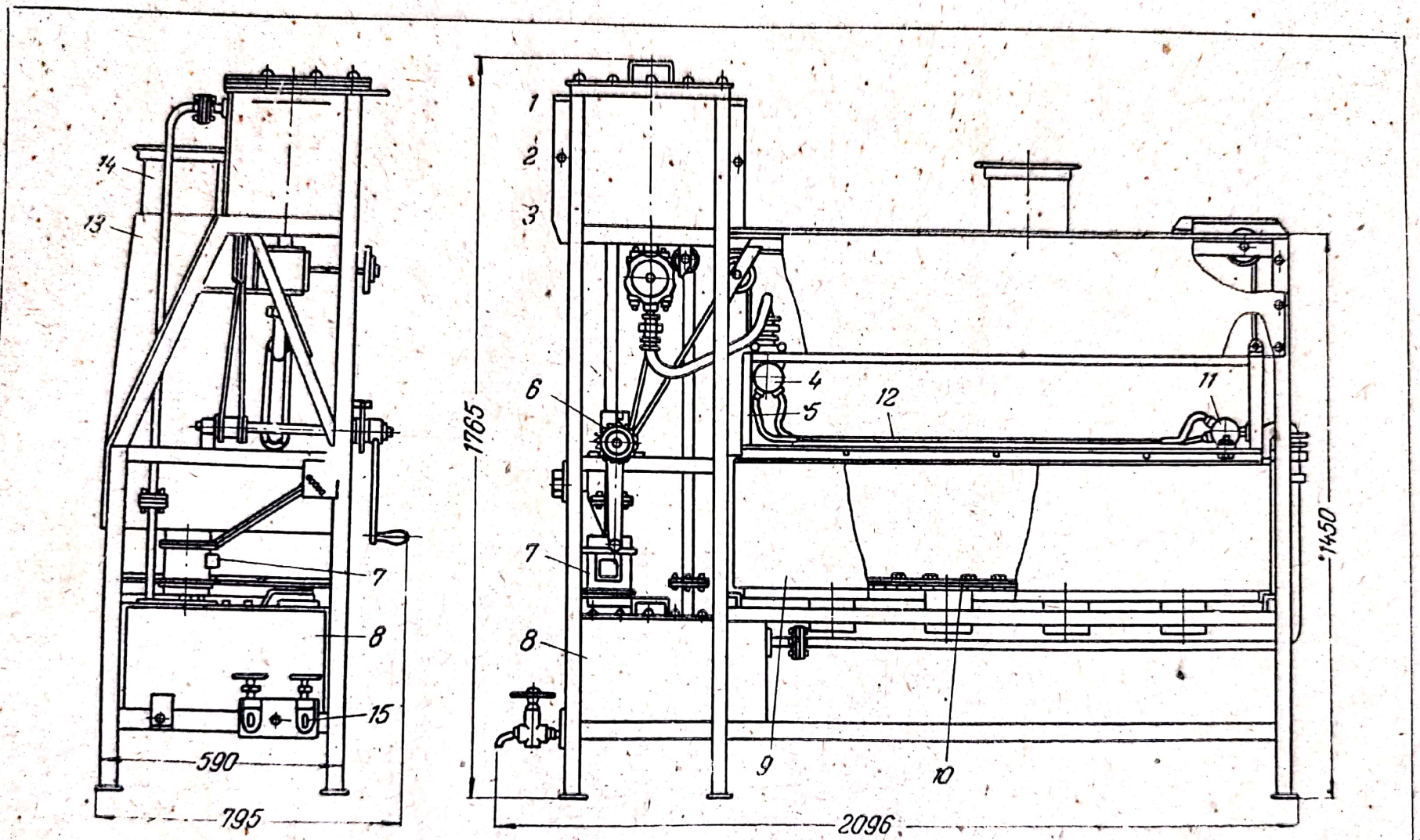


Fig. 7.23. Schemă constructivă a agregatului cu ultrasunete УЗА-2:

1 — carcasă; *2* — rezervor de presiune; *3* — ventil de reglare; *4* — colector de distribuție; *5* — suport suspendat; *6* — manetă de siguranță; *7* — pompă; *8* — rezervor inferior; *9* — baie; *10* — vibrator; *11* — colector; *12* — conducte; *13* — hotă de ventilație; *14* — racordul hotei; *15* — robinet de golire.

Scanned with OKEN Scanner

interioară din viniplast. Nivelul apei în baia exterioară și al soluției în baia interioară este recomandabil să fie menținute aproximativ identice (pentru a se evita presiunile statice mari pe pereții băii din viniplast).

Pentru curățirea conductelor de produsele rezultate din cauza corodării se trimite forțat soluția prin canalele interioare. Acidul este trimis, cu ajutorul unei pompe centrifuge, din baia de viniplast într-un colector. În peretele lateral demontabil al acestuia există orificii egale la număr cu conductele curățite concomitent. Acidul care iese din conducte umple pînă la un anumit nivel o baie interioară, apoi se scurge într-un rezervor prevăzut cu filtru și revine din nou la pompa centrifugă. Curentul de acid care circulă prin canalele interioare ale conductelor este reglat cu ajutorul unui ventil. Agregatul permite încălzirea soluției, cu stabilizarea automată a temperaturii. Piesele supuse prelucrării sînt adunate în afara agregatului pe un suport special, apoi sînt cufundate în baie și introduse în rețeaua de circulație a soluției. Cu acest agregat se pot curăți conducte drepte cu lungimea pînă la 1 200 mm (deci care nu depășesc lungimea blocului vibratorului). Numărul de conducte curățite simultan, care pot fi așezate într-un singur rînd, este determinat de lățimea blocului vibratorului (300 mm). Diametrul exterior al conductelor supuse curățirii poate fi cuprins între limitele 2—16 mm, pentru o grosime a peretelui de cel mult 2 mm.

Mai jos sînt date caracteristicile tehnice ale agregatelor descrise.

	УЗВ-1	УЗВ-2
Numărul de băi	5	1
Dimensiunile fundului băii, mm	300	500×1 500
Înălțimea băii, mm	150	500

Agregatul УЗА-6 servește la curățirea cu ultrasunete a pieselor și subansamblurilor avînd forma unor corpuri de rotație, de petele de grăsime și impurități.

Curățirea se face printr-un procedeu continuu, progresiv. În timpul rotirii subansamblului în jurul axei orizontale, toate părțile suprafeței supuse curățirii trec succesiv prin zona de acțiune a vibrațiilor ultrasonore.

Rotirea subansamblului care trebuie curățit se face cu ajutorul unui motor electric cuplat, prin intermediul unei transmisii cu curea trapezoidală, cu un reductor și cu o cupolă basculantă, care cuprinde axul produsului supus curățirii.

Vibrațiile ultrasonore sînt produse de două vibratoare magnetostrictive ПМС-6, amplasate pe pereții laterali ai băii.

Agregatul УЗА-6 poate fi folosit și pentru curățirea pieselor care nu au forma unor corpuri de rotație și care nu necesită o metodă de curățire continuă și progresivă.

Caracteristicile tehnice ale acestui agregat sînt:

Frecvența vibrațiilor produse de vibratorul magnetostrictiv, kHz	19,5
Puterea nominală a unui vibrator, kW	2,5
Debitul de apă pentru răcire, l/min	5—8
Presiunea în rețea, at	2—2,5
Dimensiunile suprafeței radiante a vibratorului, mm	300×300

Scanned with OKEN Scanner

Dimensiunile băii, mm:	
lungimea	490
lățimea	70
înălțimea	560
Puterea motorului electric de acționare, kW	0,18
Turația, rot/min	1 450
Tensiunea rețelei de alimentare, V	220/380
Turația subansamblului supus curățirii, rot/min	5
Dimensiunile de gabarit, mm	1 070×730×1 350
Greutatea, kg	300

Aspectul exterior al agregatului УЗА-6 este arătat în fig. 7.24.

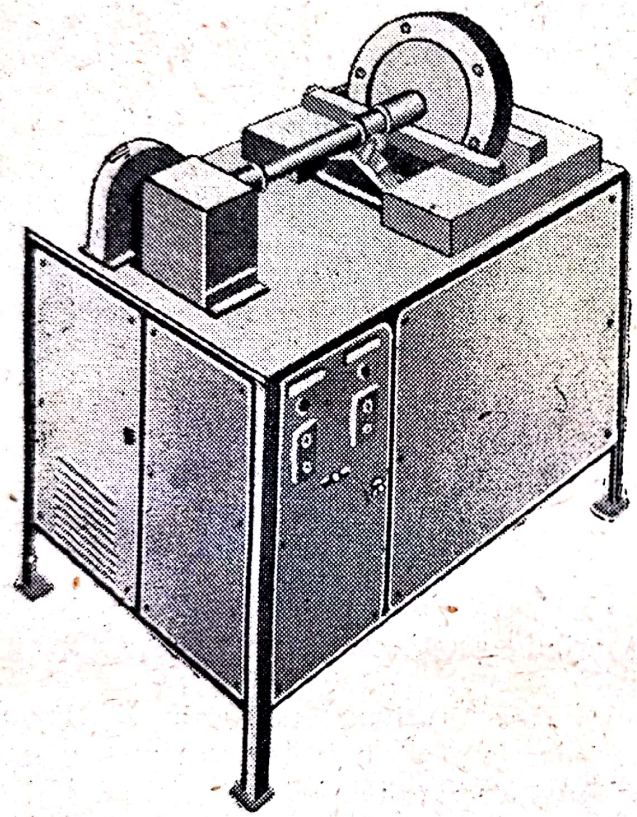


Fig. 7.24. Aspectul exterior al agregatului УЗА-6.

Fig. 7.25. Instalație cu ultrasunete УЗО 2.

Instalația cu ultrasunete УЗО-2 (fig. 7.25) servește la curățirea pieselor de uleiuri, grăsimi, resturi de pastă de lustruit, șpan fin, pilitură și alte impurități.

Instalația se compune dintr-un agregat de spălare tip carusel și un generator УГ-44. În agregat există patru băi, un mecanism transportor și un aparat pentru regenerarea lichidului de spălare. Aparatul este prevăzut cu posibilitatea reglării de la distanță a frecvenței generatorului, ceea ce permite să se exploateze agregatul în medii care prezintă pericol de explozie și în medii corosive.

Piesele supuse curățirii sînt cufundate într-un coș de sîrmă, care — cu ajutorul mecanismului transportor — este dus pînă la prima baie. Aici pie-

sele sînt spălate cu lichid de spălare și de pe suprafața lor se îndepărtează parțial șpanul mare, granulele de abraziv și pilitura. În băile a doua și a treia, prevăzute cu vibratoare magnetostrictive, are loc o curățire intensivă a pieselor. În baia a patra se spală resturile de soluție murdară. În locul acestei băi, în agregat poate fi montat un dispozitiv pentru uscarea pieselor cu aer fierbinte. Pentru accelerarea procesului de curățire, coșurilor cu piese li se imprimă o mișcare de rotație.

Pupitrul de comandă este așezat pe carcasa instalației. Pe același pupitru se găsește butonul de reglare de la distanță a frecvenței generatorului.

Caracteristicile tehnice ale acestui agregat sînt:

Numărul de băi	3—4
Capacitatea unei băi, l	16
Timpul de menținere a pieselor în băi, min	0,1—3
Frecvența de lucru, kHz	20—22
Puterea de ieșire a generatorului, kW	1,5
Sursa de alimentare	rețea de curent alternativ trifazat de 220/380 V, 50 Hz
Puterea absorbită de la rețea kW:	
de către generator	3,5
de către agregatul de spălare	3
Dimensiunile de gabarit, mm:	
ale generatorului	710×470×1 100
ale agregatului de spălare	1 010×1 400
Greutatea, kg:	
a generatorului	250
a agregatului de spălare	350

În industrie sînt utilizate și instalații la care coșurile se deplasează pe un transportor. Mai jos sînt descrise cîteva dintre aceste instalații.

Instalația УОЧ se compune dintr-o baie cu capacitatea de 35 l, prevăzută cu un transportor cu lanț și două vibratoare magnetostrictive.

Pe un transportor există 10—12 cîrlige pentru atîrnarea coșurilor cu piese. Piesele sînt așezate în coșuri la locul de muncă și apoi sînt transportate la baia de spălare.

Coșul este alcătuit dintr-un cadru metalic pe care este întinsă o împletitură deasă de sîrmă.

Baia este acoperită cu un capac din sticlă organică, prevăzut cu tiraj. În aceasta se toarnă soluția de prelucrare. Piesele puse în coșuri și așezate pe transportor, deplasîndu-se prin baie, ajung mai întîi în cîmpul ultrasonor al primului vibrator, apoi în cîmpul celui de-al doilea vibrator. Unul dintre vibratoare este fixat pe fundul băii, iar cel de-al doilea — la partea de sus a băii. Acest mod de amplasare a vibratoarelor permite expunerea la acțiunea ultrasunetelor alternativ a părții de sus și a celei de jos a pieselor.

După trecerea prin baie, coșurile cu piese se iau de pe transportor și se trec prin baia de clătire, după care piesele sînt uscate.

Scanned with OKEN Scanner

Instalația este înzestrată cu două vibratoare magnetostrictive de tip pachet de tole.

Un alt tip de instalație de acest fel este agregatul cu dispozitiv cu camă pentru deplasarea coșurilor. Această instalație este o baie cu ultrasunete prevăzută cu un dispozitiv cu camă pentru deplasarea pe o circumferință a coșurilor cu piese. Baia are cinci compartimente: patru sînt băi de spălare cu capacitatea totală de 75 l, iar cel de-al cincilea este un compartiment de încărcare-descărcare. În primele trei compartimente se găsesc cîte două vibratoare magnetostrictive de tip НЭЛ-IV. Unul dintre vibratoare este fixat pe fundul băii, iar celălalt deasupra ei. În total există șase vibratoare. În centrul băii se învîrteşte un rotor pe care sînt fixate nişte bare. Acestea, deplasîndu-se cu capetele lor inferioare pe nişte came profilate fixe, transportă dintr-un compartiment în altul consolele pe care se așază coșurile cu piese. Pe rotor sînt amplasate 18 console cu coșuri şi rotorul execută o turație completă în timp de 5 min. Viteza de învîrtire a rotorului este variată cu un reductor; productivitatea băii este următoarea: la fiecare 20—30 s iese un grătar cu piese curățate.

Se cunosc o serie întreagă de alte agragate cu vibratoare magnetostrictive. În industria alimentară, de exemplu, pentru spălarea borcanelor şi a sticlelor încep să se folosească agregate de tip carusel şi cu transportor. Piesa principală a agregatului АУМ de tip carusel este o baie cu ultrasunete (realizată de V. F. Vigderman, I. A. Kopîlov şi alții). Baia pentru spălarea borcanelor cu ajutorul ultrasunetelor are forma unui vas dreptunghiular. În interiorul băii, pe un suport special, sînt montate două şiruri concentrice de vibratoare magnetostrictive (16 bucăți) îndreptate cu suprafețele radiante spre linia mediană a suportului, astfel încît în interstițiul de formă inelară se formează o zonă de acțiune intensivă a ultrasunetelor. Suprafețele opuse ale vibratoarelor magnetostrictive sînt apăsate pe nişte perne de cauciuc. În baie este montată o roată care, în timpul învîrtirii ei, trece liber prin interstițiul inelar dintre vibratoarele magnetostrictive. Pe ghidajele roții se montează suporturi pentru borcane.

Dacă este necesar, acestea pot fi scoase repede şi înlocuite cu altele ceea ce asigură universalitatea instalației de spălare.

Roata cu suporturi este pusă în mişcare de rotație de către un motor prevăzut cu reductor.

În timpul rotirii, borcanele — trecînd prin zona respectivă — sînt supuse acțiunii ultrasunetelor.

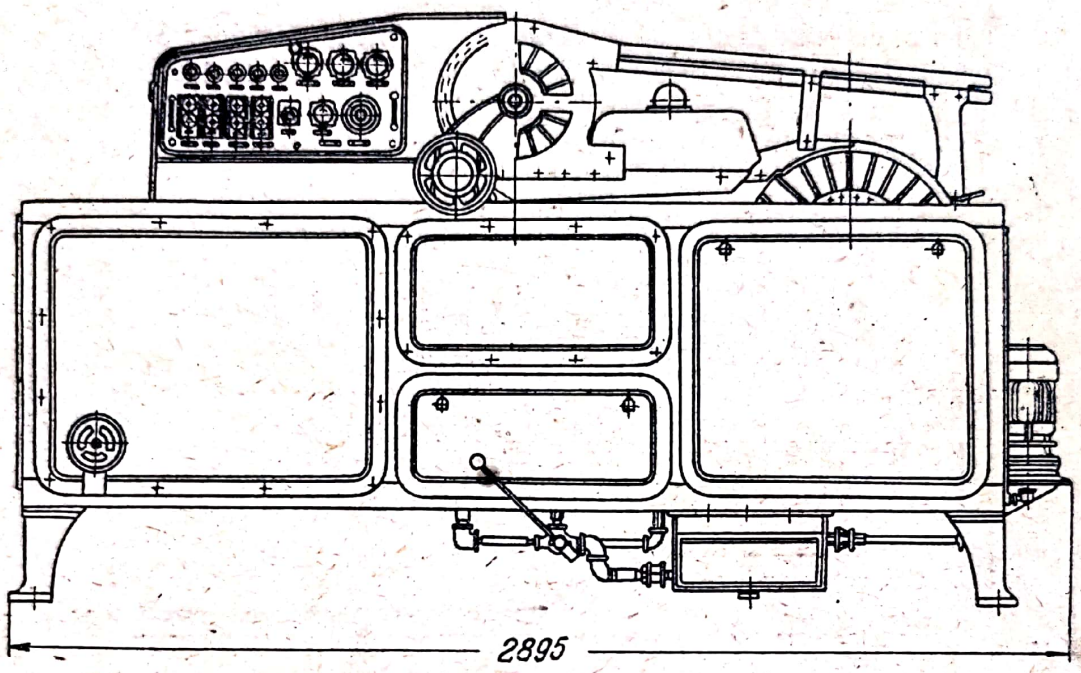
În decursul rotirii sînt efectuate automat operații de umplere a borcanelor cu apă, de spălare în cîmpul ultrasonor, de scurgere a apei murdare şi de clătire cu apă fierbinte la ieşirea din baie.

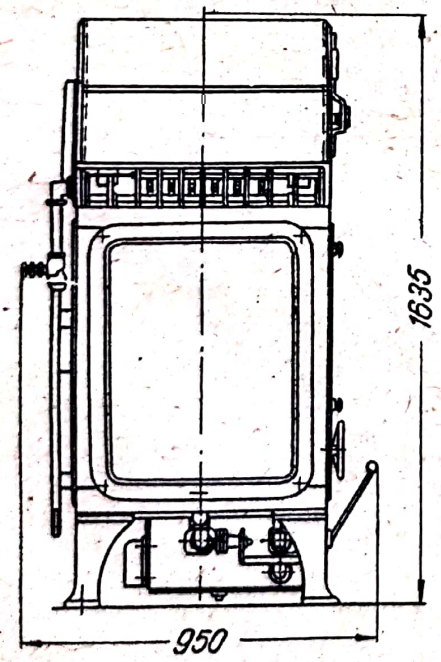
Baia este prevăzută la partea inferioară cu un ştuț prin care se poate introduce lichidul de spălare.

La punctul cel mai de jos al fundului băii există un tub pentru scurgerea murdăriei care s-a depus în baie şi o ferestruică pentru îndepărtarea cioburilor.

Scanned with OKEN Scanner

Roata şi suporturile sînt confecţionate din oţel inoxidabil. Aspectul general al instalaţiei АУМ este arătat în fig. 7.26.





Caracteristicile tehnice ale instalaţiei sînt următoarele:

Productivitatea	pînă la 10 000 buc/h
Dimensiunile pieselor	Ø maxim 60 ±2 mm Înălţimea 100 ±3 mm Orificiul din gît Ø 25 mm
Principiul de funcţionare	Continuu
Puterea absorbită	10 kW
Debitul soluţiei de spălare	pînă la 20 l pe oră
Temperatura apei fierbinţi pentru clătirea produselor	80—90°
Debitul de apă pentru clătire	3 m³/h
Frecvenţa vibraţiilor ultrasonore	21,6 kHz
Dimensiunile de gabarit	2 895×950×1 635 mm
Greutatea	1 151 kg

Fig. 7.26. Aspectul general al unei instalaţii de spălare cu ultrasunete de tip АУ-1, cu carusel, pentru spălarea vaselor de sticlă.

Pentru spălarea sticlelor, la o întreprindere din Kazan a fost montată o instalaţie de ultrasunete cu transportor, pe care se pot spăla sticle cu capacitatea de 0,5 şi 0,25 l.

În instalație sînt montate 12 vibratoare magnetostrictive de tip ПМС-8. Acestea sînt așezate la partea inferioară a mașinii și spală sticlele prin iradiere cu ultrasunete prin partea de jos. Alimentarea vibratoarelor magnetostrictive se face de la generatoare УЗР-10.

Agregate cu vibratoare hidrodinamice și piezoelectrice. Schema unuia dintre agregatele în care se folosesc vibratoare hidrodinamice cu dispozitiv vibratoriu rezonant în formă de bară și vibratoare piezoelectrice este reprezentată în fig. 7.27.

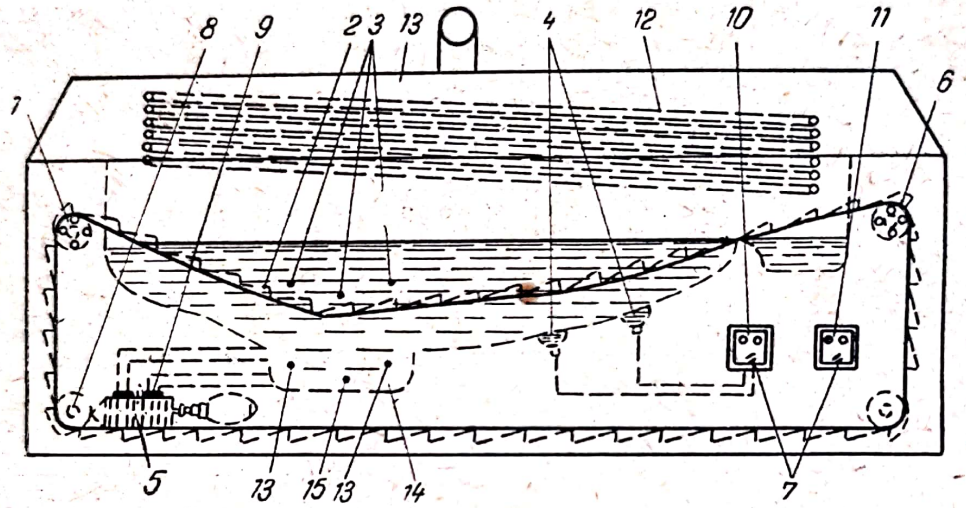


Fig. 7.27. Schemă constructivă a unui agregat cu ultrasunete, prevăzut cu vibratoare piezoelectrice și hidrodinamice.

Instalația funcționează în modul următor: materialul supus prelucrării este așezat pe transportor lîngă rola *1* și este cufundat în lichidul *2*. După aceea el trece prin zona vibratoarelor hidrodinamice *3* și ajunge în altă zonă, în care se găsesc vibratoarele de cuarț *4*. Materialul prelucrat este scos prin ieșirea *6*. Transportorul se deplasează pe role. Alimentarea vibratoarelor hidrodinamice se face cu ajutorul stației de pompare *5*, așezată în partea din stînga a instalației. În partea din dreapta este amplasat agregatul *7*, pentru obținerea unor ultrasunete de înaltă frecvență. Tablourile de distribuție servesc la controlul și reglarea puterii. Particulele de murdărie se depun pe fund și sînt scoase în exterior printr-un ventil. Solventul, care se condensează în refrigerentul *12*, revine în instalația de uscare și ajunge în baia de curățire. Un capac cu tiraj acoperă întregul aparat și servește la eliminarea gazelor. Aparatul este înzestrat cu un exhaustor, care împiedică ieșirea vaporilor la locul de încărcare și la locul de scoatere a materialului prelucrat. Încălzirea băii principale se face cu niște elemente așezate în adîncimea băii. Lungimea totală a instalației este de 5,6 m, lățimea este de 1 m, iar înălțimea de 2,5 m.

Se cunosc tipuri de agregate în care se folosesc vibratoare din titanat de bariu. În acestea lichidul circulă printr-un cilindru cu diametrul pînă la 0,5 m și lungimea de 4 m. În centrul cilindrului este fixată o placă din titanat

de bariu cu diametrul pînă la 300 mm, care funcționează bidirecțional. La locul de montare al vibratorului s-a prevăzut lărgirea cilindrului pînă la un astfel de diametru, încît prezența plăcii să nu modifice viteza de curgere a lichidului.

Aceste agregate funcționează cu un curent lichid; de aceea, în mod obișnuit, pentru a se ușura curgerea, ele sînt montate cu o înclinare de 2—3°. Pentru comoditatea curățirii, înlocuirii vibratorului etc., întreaga instalație este făcută demontabilă. În cazul unei funcționări continue, productivitatea agregatului este de circa 1 000 l/h.

d) Instalații de dispersare cu ultrasunete

Instalațiile de dispersare cu ultrasunete sînt destinate obținerii unor emulsii (dispersarea unui lichid într-un alt lichid) și fărîmițării într-un lichid a unor particule solide sau a conglomeratelor lor (dispersarea suspensiilor).

Instalațiile de acest gen existente în prezent pot fi împărțite în trei grupe:

1. Instalații de dispersare cu ultrasunete de tip УД-Г cu vibrator hidrodinamic.

2. Instalații de dispersare cu ultrasunete de tip УД-М, cu vibrator magnetostrictiv.

3. Instalații de dispersare cu ultrasunete de tip combinat УД-К.

Fiecare dintre grupele menționate posedă un vibrator hidrodinamic sau magnetostrictiv și o serie de variante constructive.

Instalațiile de dispersare de tip УД-Г sînt realizate în două variante: УД-1 și УД-2, care se deosebesc unul de altul prin productivitatea și dimensiunile lor de gabarit.

Instalațiile de tip УД-Г servesc îndeosebi la obținerea emulsiilor. În numeroase cazuri ele sînt utilizate și pentru dispersarea suspensiilor.

Dispersarea se realizează cu un spectru de vibrații elastice, obținute de la un vibrator hidrodinamic amplasat în interiorul rezervorului de lucru. Caracteristicile tehnice ale instalațiilor de dispersare de tip УД-Г sînt date mai jos.

Parametrii	УД Г 1	УД-Г 2
Productivitatea, m^3/h	0,25	0,5
Menținerea constanței parametrilor:		
Temperatura soluțiilor	reglare manuală	reglare manuală
Nivelul	idem	idem
Dozarea soluțiilor	idem	idem
Tipul de vibrator	hidrodinamic cu dispozitiv vibratoriu lamelar	sau hidrodinamic cu vîrtej
Tipul de pompă	БГ11—15 А	БГ11—15А
Dimensiuni de gabarit, mm	4 508×850×570	675×1 275×855

Instalațiile de dispersare de tip УД-Г (fig. 7.28) funcționează în modul următor.

Componentele care urmează a fi dispersate sosesc prin niște conducte în pompa cu roți dințate *1* și sînt trimise apoi în rezervorul de lucru *2* prin vibratorul hidrodinamic *3* cu dispozitiv vibratoriu lamelar sau într-un vibrator hidrodinamic cu vîrtej, închis în paharul acustic *4*.

S-a prevăzut un sistem de conducte și robinete care permite introducerea componentelor în rezervor fără a trece prin vibratorul hidrodinamic, sau introducerea lor cu o filtrare preliminară printr-un filtru corespunzător *5*.

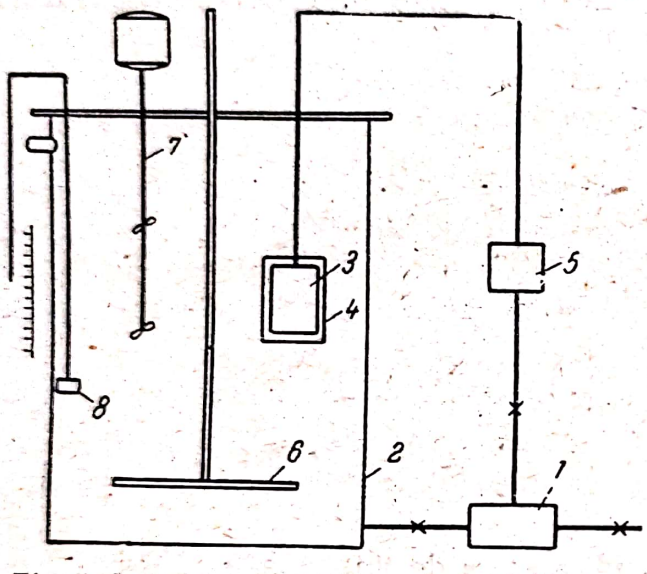


Fig. 7.28. Instalație de dispersare cu ultrasunete, de tip УДГ.

Pentru crearea condițiilor care influențează favorabil cavitația ultrasonoră, în interiorul rezervorului se găsește țeava inelară *6* prevăzută cu un număr mare de orificii mici îndreptate spre centrul inelului, care servește la saturarea soluției cu abur, aer sau un gaz inert, prin barbotare.

Pentru amestecarea soluțiilor se folosește agitatorul mecanic *7* care este pus în mișcare de rotație cu ajutorul unui motor electric montat pe același ax cu agitatorul.

La instalațiile de tip УД-Г 1 și УД-Г 2, temperatura este menținută constantă pe cale manuală.

Înregistrarea nivelului lichidului din rezervor se realizează cu nivelmetrul *8*.

S-a prevăzut de asemenea un sistem de conducte și robinete care permite dispersatorului să funcționeze cu curgere liberă sau în ciclu închis.

Trimiterea soluției prelucrate de la instalația de dispersare la aparatajul tehnologic corespunzător se face cu ajutorul unei pompe.

Instalațiile УД-Г 1 și УД-Г 2 sînt construite sub forma unor blocuri separate, amplasate pe carcase speciale.

Instalațiile de dispersare de tip УД-М servesc îndeosebi la dispersarea suspensiilor. În ele, dispersarea este înfăptuită de către vibrații elastice obținute de la un vibrator magnetostrictiv.

Există trei modele de dispersatoare УД-М: УД-М1, УД-М2 și УД-М3. Toate acestea sînt cu funcționare continuă și se deosebesc unul de altul prin amplasarea vibratoarelor magnetostrictive și prin construcția lor.

Instalația de dispersare tip УД-М1 (fig. 7.29) se caracterizează printr-o așezare orizontală a tolelor vibratorului magnetostrictiv de tip ПМС-6 și servește la dispersarea continuă a fazei solide a suspensiilor. Instalația se compune din patru compartimente montate pe aceeași carcasă (amplasate unul sub altul), fiecare dintre aceste compartimente fiind prevăzut cu vibratorul magnetostrictiv (22 kHz), amplasat în rezervorul *2*. Placa *1*, atașată vibratorului, se găsește deasupra orificiului de intrare *3*, care se află pe fundul rezervorului.

Suspensia amestecată în prealabil de agitatorul mecanic *4* pleacă de la rezervorul de alimentare *5* prin conductele *6* și ajunge la rezervor prin orificiul de intrare al primului compartiment. Aici suspensia este supusă acțiunii vibrațiilor ultrasonore în timpul trecerii ei pe sub placa vibratorului și pe deasupra acesteia. După aceea, suspensia prelucrată în primul compartiment se scurge prin fanta *7* a rezervorului în colectorul 8, iar de acolo — prin conductele 9 — ajunge în al doilea compartiment al instalației, unde este din nou iradiată cu ultrasunete.

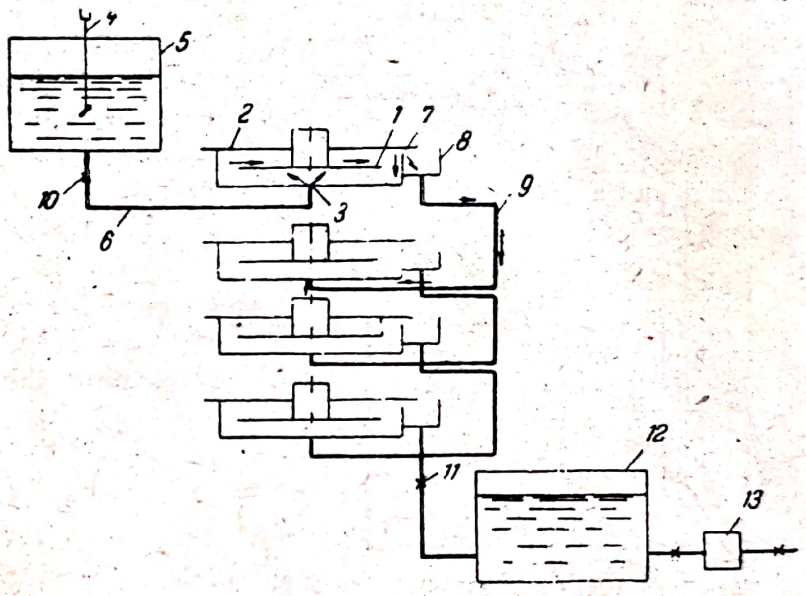


Fig. 7.29. Instalație de dispersare cu ultrasunete, de tip УД-М1.

Din cel de-al doilea compartiment suspensia ajunge succesiv în compartimentele al treilea și al patrulea. Reglarea vitezei de curgere a suspensiei, prin urmare și a timpului de iradiere a ei cu ultrasunete, se face cu ajutorul robinetelor gradate *10*.

Prin urmare, trecînd prin cele patru compartimente ale instalației, suspensia este supusă acțiunii vibrațiilor ultrasonore, pentru perioada de timp prevăzut de tehnologie.

Din ultimul compartiment suspensia ajunge, prin dispozitivul de reglare *11*, în rezervorul *12*, iar după aceea — cu ajutorul pompei *13* — este trimisă mai departe la aparatajul tehnologic corespunzător.

Pentru a menține constantă temperatura suspensiei, se folosește un termoelement montat în conductă. Pentru micșorarea pierderilor termice, rezervoarele sînt prevăzute cu izolație termică.

Alimentarea vibratoarelor magnetostrictive se face de la un generator electronic de tip УЗГ-10 sau de la un generator de impulsuri de tip ТУИГ-3.

În instalația de dispersare УД-М, în locul vibratoarelor magnetostrictive lamelare de tip ПМС-6 se pot utiliza vibratoare de tip ПМС-7 (cu concen-

trator). În acest caz capătul concentratorului este amplasat deasupra orificiului de intrare al rezervorului.

La instalațiile de acest tip s-a prevăzut un sistem de conducte, care cu ajutorul unei pompe asigură revenirea suspensiei în rezervorul superior, pentru prelucrare repetată.

Instalația de dispersare УД-М2 (fig. 7.30) se compune din rezervorul *1* în care sînt amplasate patru vibratoare magnetostrictive 2, ale căror plăci sînt așezate vertical, cîte două, una în fața alteia.

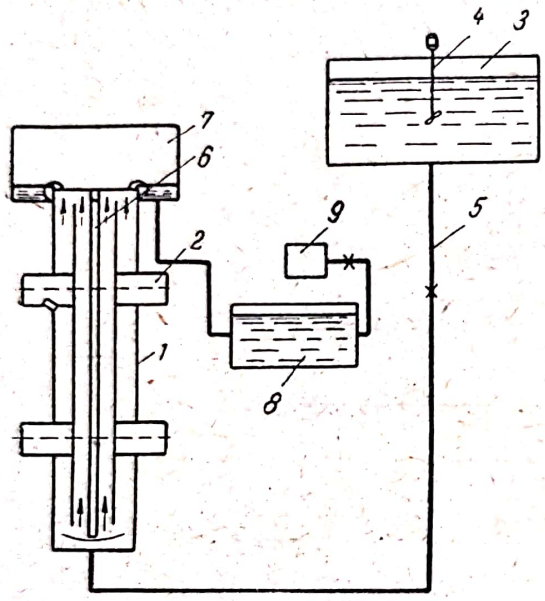


Fig. 7.30. Instalație de dispersare cu ultrasunete УД -М2.

Suspensia din rezervorul de alimentare 3, în care există agitatorul mecanic *4*, ajunge la rezervor prin conductele 5 și trece de-a lungul plăcilor vibratoarelor magnetostrictive, ocolindule prin ambele părți.

Între vibratoare este așezată placa *6*, care (la fel cu pereții rezervorului) servește drept dispozitiv pentru reflectarea multiplă a undelor sonore.

Suspensia iradiată cu ultrasunete se scurge în rezervorul de recepție 7, din care, prin niște conducte, se scurge apoi în colectorul interior *8*. Din colector, cu ajutorul pompei *9*, suspensia este trimisă la aparatajul tehnologic adecvat.

S-a prevăzut un sistem de conducte care asigură, cu ajutorul unei pompe, revenirea suspensiei în rezervorul superior, pentru prelucrare repetată.

Alimentarea vibratoarelor magnetostrictive se face de la un generator electronic de tip УЗГ-10, sau de la un generator de impulsuri de tip ТУИГ-3.

În instalația de dispersare de tip УД-М3 (fig. 7.31) se utilizează un vibrator magnetostrictiv de tip inelar. Vibrațiile elastice radiate de acest vibrator se propagă sau spre centrul inelului, sau în mediul care înconjoară inelul.

Instalația se compune din rezervorul de alimentare *1* prevăzut cu agitatorul mecanic *2*, vibratorul magnetostrictiv inelar 3, rezervorul *4*, în care este amplasat vibratorul și colectorul 5, în care se colectează suspensia care a fost prelucrată cu ultrasunete.

Din rezervorul de alimentare, suspensia ajunge prin conductele *6* pînă la vibratorul inelar de jos; trecînd prin interiorul vibratorului, ea este supusă acțiunii ultrasunetelor, apoi se scurge prin marginea vibratorului în colector și ajunge, prin niște conducte, în receptorul 7. Cu ajutorul pompei 8, suspensia gata preparată este pompată din receptor spre aparatajul tehnologic corespunzător. Alimentarea instalației se realizează cu un generator de tip УЗГ-10 sau cu un generator de impulsuri de tip ТУИГ-3.

Scanned with OKEN Scanner

S-a prevăzut un sistem de conducte pentru pomparea suspensiei în rezervorul superior, în scopul iradierii repetate cu ultrasunete.

Instalațiile de dispersare de tip УДК au concomitent două tipuri diferite de vibratoare: un vibrator hidrodinamic cu dispozitiv vibratoriu lamelar sau un vibrator hidrodinamic cu vîrtej, și un vibrator magnetostrictiv. Se fabrică trei modele de asemenea instalații: УЗ-КЦ, УД-К1 și УД-К2, care se deosebesc una de alta prin gradul de automatizare și prin dimensiunile de gabarit.

Instalația de dispersare УД-КЦ are o productivitate de 2 m^3/h de emulsie sau suspensie. În instalație se folosesc trei vibratoare magnetostrictive de tip НЭЛ-IV cu frecvența vibrațiilor de 22 kHz, legate în paralel, și două vibratoare hidrodinamice.

Vibratorul hidrodinamic, cu dispozitiv vibratoriu lamelar pentru diferite frecvențe ale ultrasunetelor, este înzestrat cu un complet de ajutaje de schimb, avînd lățimea fantei de la 0,2 pînă la 2 mm, și plăcuțe de schimb fixate în consolă.

Alimentarea vibratoarelor se face în felul următor: cele magnetostrictive — de la un generator tip УЗГ -10, cele hidrodinamice — de la o pompă de mare presiune (pînă la 20 at) cu debitul de 100 l/min.

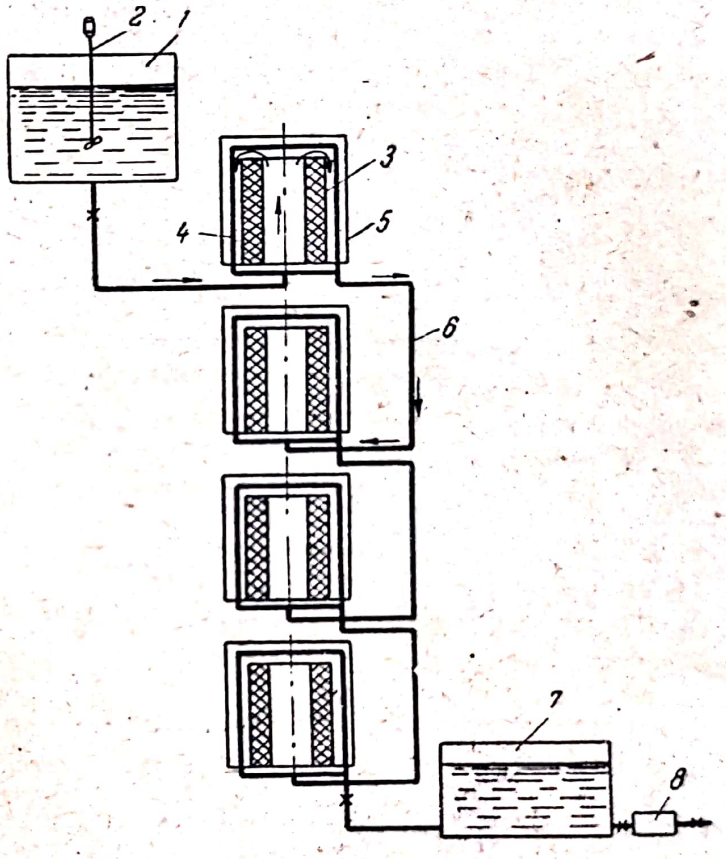


Fig. 7.31. Instalație de dispersare cu ultrasunete de tip УДМ-3.

Vibratoarele magnetostrictive și cele hidrodinamice sînt montate pe niște carcase separate, legate între ele printr-un sistem de țevi. Pentru a menține constantă temperatura soluțiilor s-a prevăzut o cămașă prin care circulă apă. Instalația УД-КЦ a fost prevăzută cu un rezervor de amestecare preliminară, în care s-a montat un agitator cu elice acționat de un motor electric.

Construcția instalației de dispersare permite ca procesul de emulsionare și cel de dispersare să fie realizat fie o dată, fie de mai multe ori. Dacă este de dorit, se poate face la început ca lichidul supus prelucrării să treacă prin vibratoarele magnetostrictive, iar după aceea prin vibratorul hidrodinamic.

Procesul de obținere a emulsiilor și de dispersare a suspensiilor cu ajutorul acestei instalații se realizează în modul următor (fig. 7.32): din rezer-

voarele *1* şi 2, lichidul sau suspensia ajung în agitatorul mecanic *3*, iar de acolo — cu ajutorul pompei *8* — în recipientul *4* prevăzut cu vibratoarele hidrodinamice *5*, sau în recipientul *6* cu vibratoarele magnetostrictive *7* alimentate de la generatorul 9. Emulsia sau suspensia preparată ajunge apoi în recipientul de acumulare, iar de acolo — la aparatajul tehnologic corespunzător. Aspectul exterior al instalaţiei УД-КЦ este arătat în fig. 7.33.

Instalaţia de dispersare УД-К1 (fig. 7.34) funcţionează în modul următor. Componentele pentru dispersare ajung prin conductele 9 în

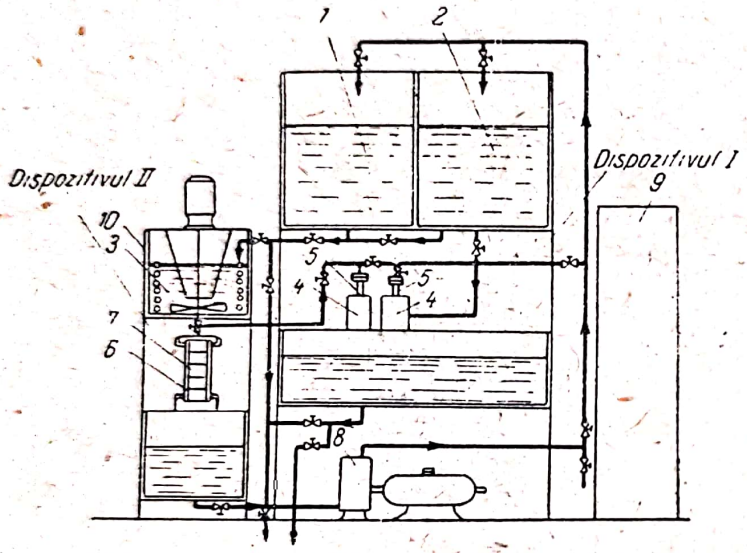


Fig. 7.32. Schemă constructivă a unei instalaţii de dispersare cu ultrasunete de tip УД-КЦ.

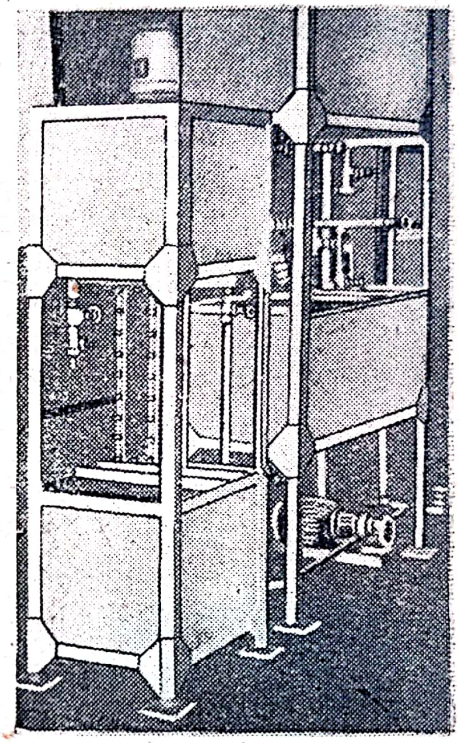


Fig. 7.33. Aspectul exterior al instalaţiei de dispersare cu ultrasunete УД-КЦ.

filtrul 11, unde sînt curăţite de toate impurităţile posibile, apoi sosesc la o pompă cu roţi dinţate de tip Ш-125 şi în rezervorul de lucru 7, prin vibratorul hidrodinamic interşanjabil *6*. Din componenţa instalaţiei fac parte două tipuri de vibratoare hidrodinamice: unul cu dispozitiv vibratoriu lamelar şi altul cu vîrtej. Pentru dozarea componentelor şi determinarea cantităţii de emulsie sau suspensie gata preparată s-a prevăzut contorul *8*. Componentele pot fi trimise în instalaţia de dispersare nu numai prin vibratorul hidrodinamic, dar şi printr-o conductă şi prin ventilul 5 (adică ocolind vibratorul). Lichidul este supus acţiunii ultrasunetelor radiate atît de vibratorul hidrodinamic, cît şi de vibratoarele magnetostrictive *10* aşezate pe fundul rezervorului cu o înclinare mică unul faţă de altul (3°). Pentru asigurarea celor mai favorabile condiţii de formare a emulsiei sau suspensiei, în instalaţie se menţine o temperatură de 40—60°C. Aceasta se obţine cu ajutorul aburului, care este trimis în cămaşa de încălzire 2.

Pentru amestecarea soluţiilor se folosesc agitatoarele mecanice 3 aşezate de o parte şi de alta a vibratorului hidrodinamic. Agitatorul este pus în mişcare de motoarele electrice *4* aşezate pe acelaşi ax cu agitatorul.

Scanned with OKEN Scanner

Nivelul lichidului din instalație este măsurat cu ajutorul nivelmetrului *1*. Instalația de dispersare poate funcționa atît în circuit închis în decursul unui interval de timp anumit, cît și cu curgere liberă.

Instalația de dispersare УД-К2 (fig. 7.35) servește la dispersarea suspensiilor și la obținerea emulsiilor puternic dispersate.

Funcționarea instalației se desfășoară în modul următor. Componentele supuse dispersării ajung prin niște conducte în pompa cu roți dințate 7, de unde — prin contoarele dozatoare cu disc și prin vibratorul hidrodinamic — ajung în rezervorul de lucru 5.

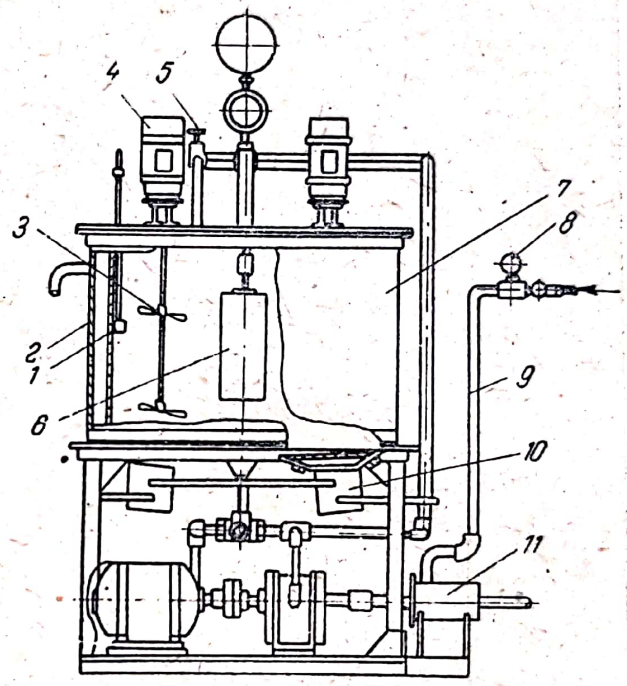


Fig. 7.34. Instalație de dispersare cu ultrasunete УД-К1.

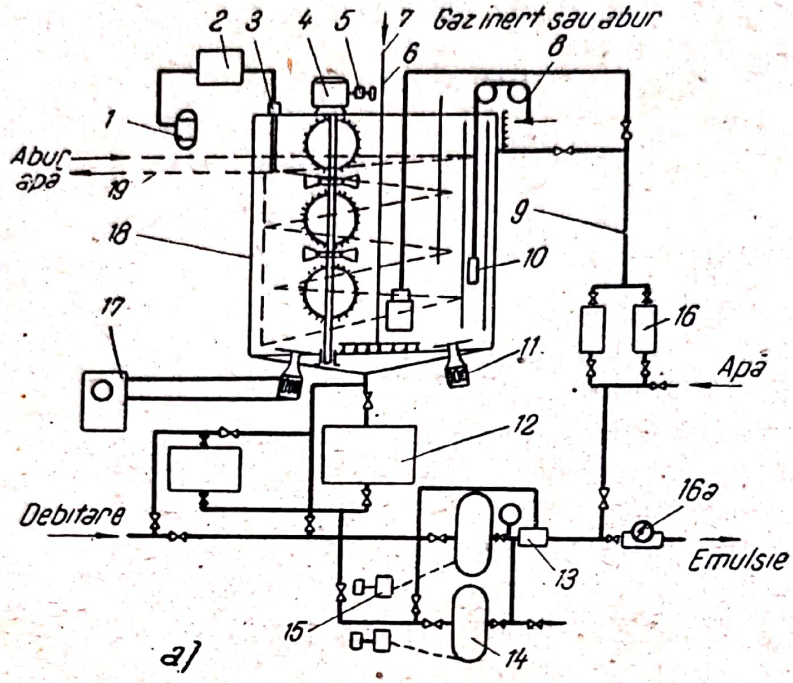
În instalație există un sistem de conducte și robinete care permit trimiterea componentelor în rezervor ocolind vibratorul hidrodinamic, sau trecerea preliminară a acestora prin filtrul *10*, prevăzut cu un grătar metalic.

În rezervor, soluțiile sînt supuse acțiunii ultrasunetelor radiate de vibratorul hidrodinamic, precum și de vibratoarele magnetostrictive amplasate pe fundul rezervorului, care sînt alimentate de un generator de impulsuri de mare putere sau de un generator УЗГ-10. Vibratoarele magnetostrictive sînt așezate sub un unghi de 10—12° unul față de altul, iar locul instalării lor a fost ales în așa fel, încît umbrele acustice provocate de mecanismele amplasate în interiorul rezervorului să fie minime.

Pentru crearea condițiilor suplimentare care favorizează acțiunea ultrasunetelor, în interiorul rezervorului a fost montată țeava inelară *8* prevăzută cu un număr mare de orificii mici îndreptate spre centrul inelului. Aceasta servește la saturația soluției cu abur, aer sau cu un gaz inert oarecare.

Pentru amestecarea soluțiilor există un agitator mecanic, compus din trei palete inelare și două elici. Agitatorul este pus în mișcare de un motor electric montat pe același ax cu el. Motorul electric este pus în funcțiune cu ajutorul unui demaror, de la un panou cu butoane,

Menținerea unei temperaturi constante se realizează cu regulatorul automat bipozițional *14* (fig. 7.35, *a*) format dintr-un traductor (termometrul cu rezistență *13*) și mecanismul de execuție *12*, care reglează aplicarea aburului sau apei din serpentina aflată în rezervor.



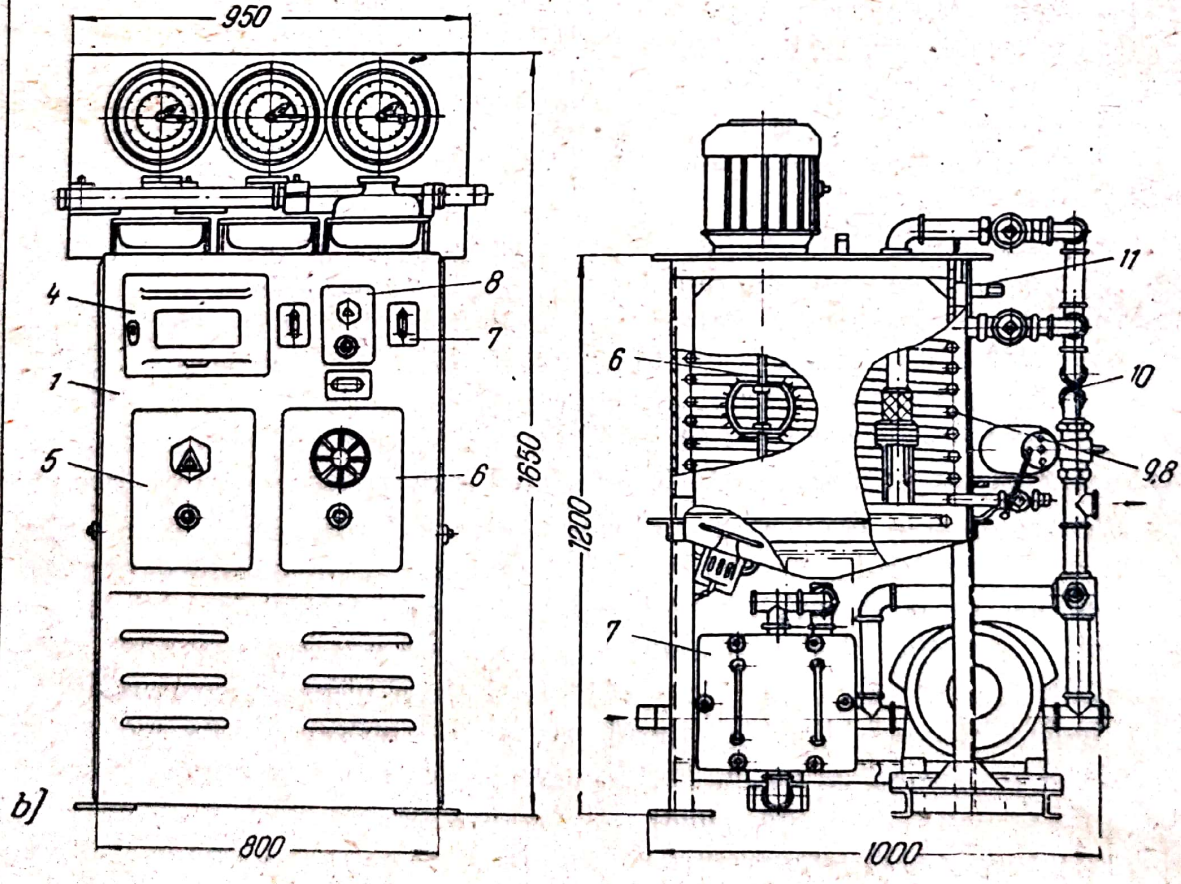


Fig. 7.35. Instalație de dispersare cu ultrasunete УД-К2:
a — schemă ilustrînd funcționarea; *b* — aspectul general.

Înregistrarea nivelului lichidului din rezervor se face cu nivelmetrul *10*, iar filtrarea lichidelor se face cu niște filtre.

S-a prevăzut un sistem de conducte și robinete care permit instalației de dispersare să funcționeze cu curgere liberă și în circuit închis.

Soluția preparată este trimisă din instalație, cu ajutorul pompelor, prin conducte spre contorul dozator *16*.

Din punct de vedere constructiv, instalația de dispersare УД -К2 este realizată sub forma a două blocuri independente așezate unul lîngă altul și legate între ele, la locul de montare, printr-un sistem de conducte și conductoare electrice.

Primul bloc cuprinde rezervorul cu vibratoarele și agitatorul, iar cel de-al doilea — aparatele de măsurat și generatorul de impulsuri.

Instalația de ultrasunete УЗФ pentru filtrarea suspensiilor. Filtrarea este unul dintre procesele cele mai răspîndite în întreprinderile din industria chimică, de prelucrare a petrolului, ușoară, alimentară și din alte domenii. În esență, această operație constă în separarea particulelor solide de lichid, în timpul trecerii acestuia printr-un perete poros. Drept perete poros se folosesc diferite țesături, site, ceramică poroasă, precum și materiale auxiliare: celuloză, cărbune, azbest. Particulele oprite de peretele filtrant formează pe suprafața acestuia niște depuneri care se măresc din ce în ce mai mult. Ca rezultat se mărește rezistența opusă mișcării lichidului și viteza de filtrare scade. Cînd viteza de filtrare s-a micșorat atît de mult, încît funcționarea ulterioară a filtrului devine nerațională, filtrarea trebuie întreruptă. După îndepărtarea depunerilor de pe suprafața filtrului, se curăță — prin diferite mijloace — de resturile de fază solidă peretele filtrant propriu-zis și se începe din nou filtrarea. Prin urmare, procesul de filtrare este în majoritatea cazurilor un proces periodic, fapt care constituie principalul lui dezavantaj. Dintre dezavantajele filtrelor obișnuite face parte și faptul că în cazul utilizării lor pentru procesul de limpezire a suspensiilor fine trebuie adeseori să se întrebuințeze substanțe de filtrare suplimentare. În plus, în cazul filtrării unor suspensii ale căror particule de fază solidă au dimensiuni mai mici decît 1 μ, de multe ori filtrele obișnuite nu mai pot fi în general utilizate.

Unul dintre mijloacele de înlăturare a acestor deficiențe constă în utilizarea, în procesul de filtrare, a unor vibrații elastice de frecvență sonoră și ultrasonoră. Folosirea acestor vibrații oferă posibilitatea realizării unei filtrări continue a suspensiilor. Cînd o suspensie trece printr-un dispozitiv de filtrare vibratoriu, pe filtru nu se depun resturi. Ca rezultat al acestui fenomen vibratoriu, nu mai are loc astuparea și murdărirea filtrului, fapt care atrage după sine creșterea productivității relative a filtrului. Dispozitivul de filtrare cu ultrasunete funcționează de obicei vreme îndelungată, fără a fi necesară curățirea sau înlocuirea lui. În plus, dacă se utilizează un filtru cu ultrasunete pentru limpezirea suspensiilor fine, nu este necesar să se recurgă la substanțe

de filtrare suplimentare, care murdăresc reziduul şi îngreuiază folosirea lui în scopuri utile.

Mecanismul filtrării cu ultrasunete nu a fost încă suficient studiat.

Există mai multe metode de punere în mişcare de vibraţie a dispozitivului de filtrare. Cea mai răspîndită este utilizarea unor vibratoare magnetostrictive şi electromagnetice. Vibratoarele sînt legate rigid cu dispozitivul de filtrare, cu ajutorul unui transformator acustic sau al unei tije, alcătuind astfel un singur complex vibratoriu. În acest caz dispozitivul de filtrare trebuie să aibă posibilitatea de a vibra liber pe direcţia axială, la fel ca un piston, şi să nu se încovoaie în planul lui, adică întregul sistem trebuie să posede o rigiditate suficientă. Pe datele şi consideraţiile expuse, se bazează filtrul УЗФ, descris mai jos.

Filtrul (fig. 7.36) se compune din două părţi demontabile: partea superioară, pe care se fixează vibratorul magnetostrictiv cu concentratorul şi dispozitivul de filtrare, şi partea inferioară, destinată introducerii suspensiei şi colectării reziduurilor.

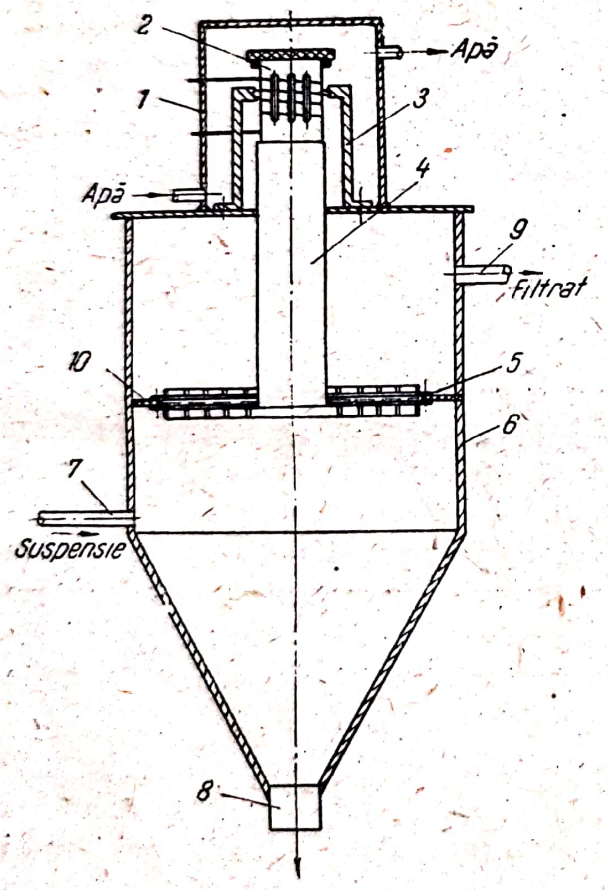


Fig. 7.36. Instalaţie cu ultrasunete pentru filtrare de tip УЗФ.

Filtrarea se face în modul următor: suspensia intră în partea inferioară a aparatului prin ştuţul 7 şi se ridică spre dispozitivul de filtrare 5. Faza lichidă trece prin filtru şi se scurge prin ştuţul superior 9. Particulele solide care nu au trecut prin filtru se aglomerează, se depun pe fundul înclinat al aparatului şi ajung în buncărul de descărcare 8. Dispozitivul de filtrare este format din două grătare îmbinate rigid, între care se aşază ţesătura de filtrare sau un alt material filtrant. Rezultatele optime le dă folosirea unui material metaloceramic. Dispozitivul de filtrare este fixat pe membrana de cauciuc 10, prinsă între cele două părţi demontabile ale filtrului. Grătarele sînt îmbinate rigid (lipite) cu vibratorul magnetostrictiv 2 de tip НЭЛ-IV, cu ajutorul unui concentrator 4 de tip bară cu secţiune constantă, sau exponenţial. Vibratorul magnetostrictiv este amplasat în carcasa 1, în care se introduce apă curgătoare pentru răcire.

Filtrul este construit în aşa fel, încît s-a prevăzut posibilitatea montării atît a unor vibratoare magnetostrictive, cît şi a unor vibratoare electromagnetice cu diferite frecvenţe de vibraţie.

Scanned with OKEN Scanner

CAPITOLUL 8

APARATAJ TEHNOLOGIC CU ULTRASUNETE PENTRU FUNCȚIONAREA ÎN MEDII SOLIDE ȘI GAZOASE

8.1. GENERALITĂȚI

Aplicațiile industriale ale ultrasunetelor în procesele legate de prelucrarea materialelor solide se împart în patru categorii principale: găurirea materialelor solide și casante, cu găuri de diverse configurații (precum și prelucrarea metalelor prin tăiere); sudarea materialelor și a pieselor; lipirea și cositorirea unor materiale și piese; degazarea unui material topit (metal, sticlă etc.).

Unul dintre tipurile originale de dispersare cu ultrasunete a materialelor solide este procesul de găurire. Această utilizare industrială a ultrasunetelor prezintă un mare interes, deoarece pentru tehnica modernă este caracteristică utilizarea din ce în ce mai frecventă a unor materiale care se disting printr-o duritate extrem de mare, precum și a materialelor care au pe lîngă proprietăți prețioase și o duritate și o fragilitate mare. Dintre aceste materiale fac parte aliajele metaloceramice dure, sticla, ceramica, materialele semiconductoare, feritele, pietrele prețioase etc.

Prelucrarea mecanică obișnuită a materialelor menționate este însoțită de dificultăți serioase, provoacă un număr mare de deșeuri și în unele cazuri nu asigură calitatea necesară a găuririi.

Dispersarea materialelor solide în procesul de găurire cu ultrasunete se realizează cu o sculă care vibrează cu o frecvență înaltă, într-un mediu lichid care conține o pulbere abrazivă.

Sub acțiunea ultrasunetelor particulele abrazive se ciocnesc de material cu o forță care depășește de cîteva mii de ori propria lor greutate. Materialul este eliminat de pe suprafețe determinate de profilul sculei și situate în plane perpendiculare pe axa vibrațiilor, sub forma unor particule extrem de fine.

Valoarea accelerației necesare pentru sfărîmarea materialelor se obține numai în cazul cînd scula lovește direct particula de abraziv aflată pe suprafața supusă prelucrării. În funcție de aceasta, se pot observa sfărîmări de două tipuri: măcinarea materialului aflat direct sub particulele de abraziv și formarea unor fisuri care duc la ruperea unor particule de material cu dimensiuni de ordinul de mărime al dimensiunilor granulelor de abraziv. În fisurile care se formează pătrund bule de cavitație, care contribuie la separarea bucăților care s-au rupt din masa materialului. După aceea, aceste bucățele sînt îndepărtate de curenții acustici. Îndepărtarea materialului se intensifică o dată cu creșterea amplitudinii vibrațiilor, care — în practică — trebuie să fie egală cu cel puțin 0,02 mm (în mod obișnuit 0,04—0,1 mm). Aceste considerații au dus la alegerea unor frecvențe relativ joase (17—30 kHz) care permit să se obțină o amplitudine suficientă a vibrațiilor, chiar în cazul unor puteri mici. Pentru mărirea amplitudinii se folosesc transformatoare acustice a căror extremitate este construită sub forma unei scule de forma necesară. Materialul supus prelucrării este acoperit cu un abraziv umed (de pildă carbură de bor) și este supus acțiunii sculei. Pentru menținerea contactului acustic între sculă și ma-

terial, este necesar ca scula să fie apăsată ușor. Mărirea presiunii provoacă amortizarea vibrațiilor și acest fapt micșorează apreciabil eficacitatea prelucrării.

În cazul găuririi cu ultrasunete, viteza de găurire nu depinde de forma găurii, ci este proporțională cu cantitatea de material „extrasă prin găurire" și antrenată de abraziv. De aceea, în cazul executării unor găuri mari, este preferabil să se utileze o sculă tubulară, care prelucrează o cantitate mai mică de material.

Prin urmare, productivitatea prelucrării cu ultrasunete depinde de o serie întreagă de factori. Unii dintre aceștia sînt condiționați de proprietățile fizice ale materialului prelucrat și de dimensiunile geometrice ale găurii, alții sînt determinați de parametrii abrazivului (duritatea, greutatea specifică, granulația, concentrația suspensiei) și de proprietățile lichidului, alți factori sînt condiționați de forma, dimensiunile și materialul sculei, precum și de regimul ei de funcționare (amplitudinea și frecvența vibrațiilor, presiunea statică). O importanță principală au duritatea și fragilitatea materialului (posibilitatea de rupere a unor particule mici sub acțiunea șocurilor abrazivului). Prelucrarea materialelor moi și vîscoase este dificilă.

În tehnica sudării, ultrasunetele sînt folosite în două moduri: pentru îmbunătățirea proprietăților mecanice ale îmbinărilor sudate, în cazul sudării prin topire, și pentru crearea unor îmbinări sudate fără topirea metalelor (sau a materialelor nemetalice: mase plastice), sub formă de sudare prin puncte, cu cusătură și cap la cap. În cazul folosirii ultrasunetelor, pentru îmbunătățirea proprietăților mecanice ale îmbinărilor sudate, atunci cînd sudarea se face prin topire, se utilizează o binecunoscută însușire a ultrasunetelor, care constă în faptul că dacă un metal care cristalizează este supus acțiunii vibrațiilor, are loc o măcinare a granulelor primare, o degazare a masei topite și o ameliorare a proprietăților mecanice. În cazul acestei metode de sudare, vibrațiile ultrasonore sînt radiate direct în metalul lichid din baia de sudare, cu ajutorul unui transformator acustic răcit, cuplat cu un vibrator magnetostrictiv.

La sudarea cu ultrasunete a metalelor și materialelor nemetalice (mase plastice), piesele care urmează a fi îmbinate sînt strînse între un dispozitiv de strîngere și capătul transformatorului acustic, așezat orizontal sau vertical față de dispozitivul de strîngere. Metoda de sudare cu ultrasunete a maselor plastice se bazează pe faptul că în timpul acțiunii ultrasunetelor asupra suprafețelor supuse sudării are loc o degajare de căldură, masa plastică se înmoaie pe o grosime foarte mică și, întrucît în acest timp se aplică concomitent și o presiune, se formează o îmbinare solidă. Dintre avantajele procesului de sudare cu ultrasunete a maselor plastice trebuie să se menționeze faptul că concentrarea încălzirii numai în locurile care trebuie sudate asigură o productivitate relativ mare, consum de energie redus și modificări minime ale proprietăților materialelor. În plus, se poate efectua sudarea unor secțiuni de formă diferită, în locurile greu accesibile, și a unor tipuri de îmbinări care nu pot fi executate prin metodele obișnuite.

În cazul sudării cu ultrasunete a metalelor, o particularitate a acțiunii sculei de sudare constă în vitezele apreciabile de deplasare a extremității

transformatorului acustic, care — în funcție de valoarea amplitudinii — pot atinge cîțiva metri pe secundă, ceea ce depășește de zeci de mii de ori, de exemplu, viteza de deplasare a poansoanelor în cazul sudării la rece a metalelor.

Procesul de sudare cu ultrasunete a metalelor poate fi imaginat în modul următor. Pe suprafețele produselor supuse sudării, apăsate între dispozitivul de strîngere și extremitatea transformatorului acustic, din cauza vibrațiilor elastice ale extremității transformatorului, apar eforturi tangențiale de înaltă frecvență de valoare apreciabilă și de semn variabil; ca urmare, în locurile de sudare suprafețele se curăță de murdărie. Pelicula de oxid, care are o rezistență mecanică și o plasticitate mai mici decît cele ale metalului, se distruge și lasă descoperite porțiuni curate din suprafața metalului, care au capacitatea de a adera. În procesul de sudare cu ultrasunete, sub acțiunea eforturilor de forfecare de înaltă frecvență și de semn variabil, are loc o activizare a atomilor din rețeaua cristalină a metalelor, așezați în apropierea suprafeței de îmbinare; aceasta asigură o aderare mai ușoară a metalelor și deformații plastice mult mai mici decît este necesar, de pildă, în cazul sudării la rece. Datorită apropierii suprafețelor de metal supuse sudării, sub acțiunea presiunii de apăsare, pînă la distanțe la care se manifestă forțele de interacțiune atomică, se produce sudarea. Un factor care contribuie la sudare este căldura care se degajă în metal în timpul trecerii ultrasunetelor. O influență însemnată asupra procesului de sudare o are și presiunea aplicată produsului în momentul sudării. Eforturile de apăsare îndeplinesc mai multe funcțiuni. Ele sînt necesare pentru crearea unor tensiuni tangențiale în locurile de sudare și pentru producerea unei deformări ulterioare comune suprafețelor supuse sudării. Existența unor eforturi de apăsare asigură de asemenea apropierea atomilor din suprafețele supuse sudării pînă la distanțe comparabile cu raza de acțiune a forțelor de atracție interatomică și contribuie la distrugerea peliculelor superficiale.

Acțiunea complexă a vibrațiilor de înaltă frecvență, a căldurii și a eforturilor de presare duce la formarea unor cristale comune la limitele de separare a două metale și, în felul acesta, la crearea unei îmbinări sudate solide.

Utilizarea ultrasunetelor drept sursă de energie pentru sudarea metalelor are următoarele avantaje față de metodele de sudare folosite anterior: absența încălzirii unor volume apreciabile de metal pînă la temperaturile de topire, ca rezultat obținîndu-se în cazul sudării cu ultrasunete o modificare minimă a proprietăților fizico-chimice ale materialelor; puterea electrică mică necesară pentru realizarea îmbinării sudate și posibilitatea sudării metalelor care altfel se sudează greu; condiții mai puțin severe în ce privește starea de curățenie a suprafețelor, ceea ce oferă posibilitatea de a suda suprafețe placate, oxidate, acoperite cu lac, posibilitatea sudării unor secțiuni foarte mici atît în cazul a două table, cît și al unui pachet din metale diferite, precum și sudarea unor metale de grosimi mici cu metale de grosimi mari.

La sudarea și cositorirea metalelor cu ultrasunete, distrugerea peliculei de oxid de pe suprafața lor se realizează datorită cavitației care apare în timpul acțiunii ultrasunetelor în aliajul topit.

Scanned with OKEN Scanner

Aliajele pe bază de plumb umezesc bine suprafaţa curăţită de pelicula de oxid (de exemplu suprafaţa unei piese de aluminiu) şi totodată difuzează bine în ea. După cît se pare, în acest caz are loc o dizolvare parţială a stratului superficial de aluminiu în aliaj.

Se ştie că prelucrarea metalelor topite cu ultrasunete măreşte apreciabil rezistenţa mecanică a metalului şi micşorează conţinutul de gaze din el. Acţiunea de degazare provocată de vibraţiile ultrasonore elastice este legată de două efecte care întovărăşesc propagarea unor vibraţii intense în masa topită. În primul rînd, datorită proceselor de cavitaţie apar condiţii excepţional de favorabile pentru crearea unui mare număr de bule de gaz microscopice. În perioada de rarefiere a undei sonore, într-o bulă de cavitaţie practic nu există presiune, ceea ce duce la eliberarea gazelor dizolvate sub formă de bule. Dacă supunerea la acţiunea cîmpului ultrasonor continuă (datorită difuziei şi coagulării, precum şi curenţilor hidrodinamici), bulele gazoase mărunte se unesc în bule mai mari, capabile de a se ridica la suprafaţă.

Fenomene analoge au loc şi în topiturile de sticlă şi de alte materiale.

Cele arătate mai sus determină caracteristicile tehnice principale şi particularităţile exploatării aparatajului tehnologic cu ultrasunete pentru găurirea, sudarea şi lipirea unor materiale şi pentru degazarea topiturilor.

8.2. APARATAJ PENTRU GĂURIREA ŞI TĂIEREA CU ULTRASUNETE

a) Principiul de funcţionare

Principiul pe care se bazează găurirea cu ultrasunete a materialelor dure şi casante este ilustrat de schema din fig. 8.1. După cum rezultă din schemă, scula 6 este calată pe concentratorul 5. Vibraţiile ultrasonore produse de vibratorul magnetostrictiv 2 se transmit sculei, care execută o mişcare de translaţie alternativă cu frecvenţa ultrasunetelor. Amplitudinea vibraţiilor sculei este în mod obişnuit de 0,04—0,1 mm. Scula este aşezată pe materialul supus prelucrării. La locul de prelucrare se aduce o suspensie compusă dintr-un praf abraziv cu apă. Forma găurii obţinute sau a adînciturii din materialul prelucrat corespunde conturului sculei. În fig. 8.2 sînt arătate mai multe forme ale sculei şi găurile obţinute cu ajutorul lor.

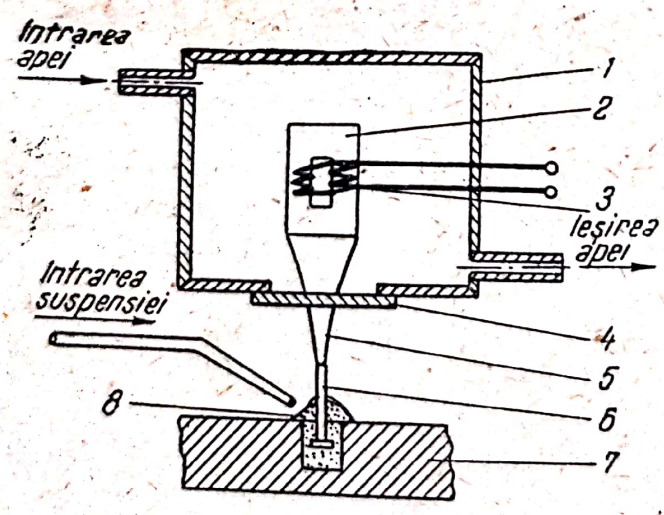


Fig. 8.1. Schemă ilustrînd funcţionarea unei maşini-unelte cu ultrasunete pentru prelucrarea materialelor solide:

1 — cămaşă pentru răcire vibratorului magnetostrictiv; *2* — vibrator magnetostrictiv; *3* — bobinaj de excitaţie; *4* — fixarea vibratorului; *5* — concentrator; *6* — sculă; *7* — materialul supus prelucrării; *8* — suspensie de pulbere abrazivă.

Instalaţiile pentru găurirea cu ultrasunete (fig. 8.3) se compun dintr-o maşină-unealtă (o maşină

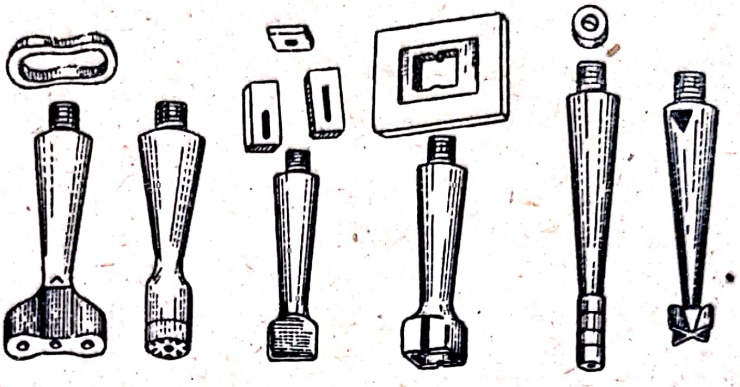


Fig. 8.2. Scule pentru găurirea cu ultrasunete și piese prelucrate cu ultrasunete.

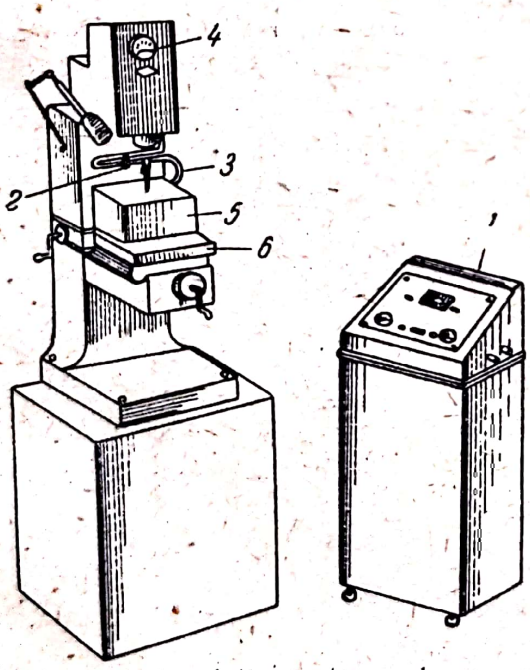


Fig. 8.3. Instalație pentru prelucrarea cu ultrasunete a materialelor solide:

1 — generator de înaltă frecvență; *2* — concentrator avînd la capăt scula de lucru; *3* — conducte pentru debitarea suspensiei de abraziv; *4* — dinamometru care servește la menținerea unei presiuni constante; *5* — baia în care are loc prelucrarea; *6* — masă prevăzută cu mecanism de avans.

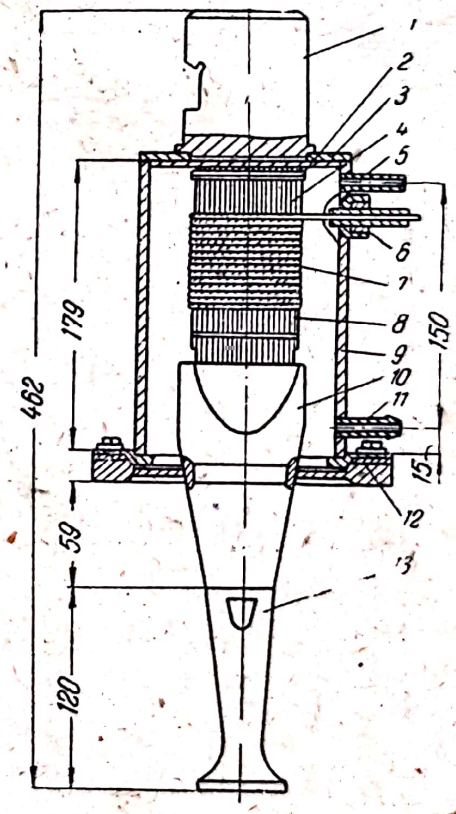


Fig. 8.4. Vibrator magnetostrictiv ПМС-1 pentru prelucrarea materialelor solide și casante:

1 — cap de reglare; *2* — bandaj; *3* — pernă de cauciuc; *4* — pachet de tole; *5* — știft de ieșire; *6* — conductor de racord; *7* — bobinaj; *8* — piesă terminală din fibră; *9* — carcasă; *10* — transformator de vibrații elastice; *11* — știft de intrare; *12* — garnitură de etanșare din cauciuc; *13* — sculă.

Scanned with OKEN Scanner

de găurit sau o maşină de frezat), un generator de ultrasunete, un vibrator magnetostrictiv, de exemplu de tip ПМС-1 (fig. 8.4) cu transformator acustic şi scula de lucru. Se utilizează generatoare electronice de puterea necesară, cu funcţionare continuă.

În toate cazurile este necesar să se asigure fixarea pe maşina-unealtă a blocului acustic (vibratorul magnetostrictiv, transformatorul acustic, scula) (fig. 8.5), precum şi a sculei pe transformatorul acustic. Cînd se lucrează cu maşini-unelte cu ultrasunete se folosesc de obicei scule confecţionate din oţel 45, oţel 50, oţel rotund calibrat sau orice alt oţel inoxidabil. Scula se înşurubează sau se lipeşte de concentrator cu un aliaj dur. În acest caz suprafaţa şi forma secţiunii sculei trebuie să corespundă în mod aproximativ cu suprafaţa

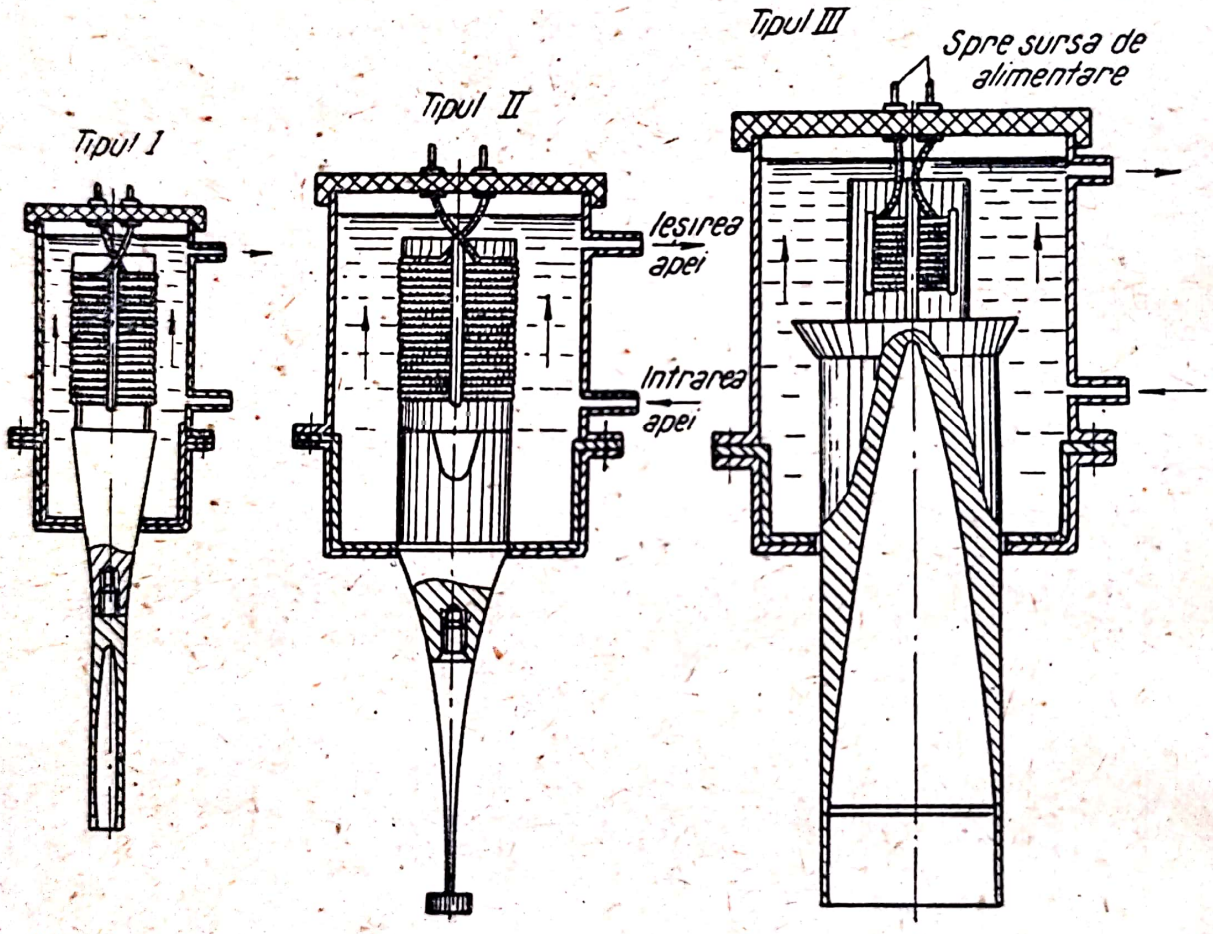


Fig. 8.5. Construcţia blocurilor acustice.

şi profilul secţiunii concentratorului. Scula trebuie să fie cît mai scurtă şi mai rigidă posibil. De regulă, scula nu este supusă unui tratament termic (călire).

Piesa care urmează a fi prelucrată se montează pe masa maşinii-unelte, corespunzător poziţiei sculei, şi se fixează cu nişte piese de strîngere. Dacă gaura care urmează a fi practicată este de trecere, sub piesă se aşază un suport. Dacă la ieşire se pot obţine sfărîmituri (la prelucrarea sticlei, a ceramicii, a materialelor semiconductoare etc.), piesa trebuie lipită de suportul de dedesubt.

Scanned with OKEN Scanner

Regimul de prelucrare este determinat îndeosebi de amplitudinea vibraţiilor sculei, de granulaţia abrazivului şi de efortul de avans al sculei.

În cazul găuririi cu ultrasunete, calitatea prelucrării suprafeţei este caracterizată de datele prezentate în tabela 8.1.

TABELA 8.1

Tipul prelucrării	Tipul abrazivului	Dimensiunea granulei abrazivului mm	Precizia mm	Clasa de finețe a suprafeței
Brută	120	0,105—0,125	0,08—0,1	7
Fină	320	0,028—0,042	0,03—0,05	8
Ajustare	M 10	0,007—0,010	0,01—0,02	9

b) Tipuri de maşini de găurit cu ultrasunete

Dintre maşinile de găurit cu ultrasunete fabricate de industrie, cele mai răspîndite sînt maşinile de tip УЗС, 4770, 4772. În ultimul timp a început fabricarea maşinilor 4773 şi 2УПС. Mai jos se prezintă descrierea şi caracteristicile tehnice ale acestor maşini.

Maşinile-unelte УЗС sînt fabricate în mai multe tipuri УЗС-1, УЗС-3М, УЗС-4 şi УЗС-5. La maşinile de acest tip se utilizează vibratoare magnetostrictive de tip ПМС. În mod obişnuit, maşinile sînt prevăzute cu generatoare electronice de tip УЗГ. În tabela 8.2 sînt date caracteristicile tehnice ale tipurilor de maşini menţionate mai sus.

TABELA 8.2

Parametri	УЗС-1	УЗС-3М	УЗС-4	УЗС-5
Suprafaţa activă a mesei, mm	260×600	180×180	2 500×600	140 (Diametrul)
Cursa mesei, mm				
pe verticală	300	60	135	40
longitudinală	360	—	300	60
transversală	230	—	200	30
Limitele de reglare a efortului de apăsare a sculei pe piesă, kgf	0,5—10±0,2	—	0,5—25±0,2	0,2—10±0,1
Puterea vibratorului, kW	0,5—1,5	2	2—3	1—2
Frecvenţa vibraţiilor, kHz	20	18—22	18—22	18—22
Dimensiunile de gabarit, mm	1125×1405×1100	570×390×1 430	1075×1037×1863	290×570×435
Greutatea, kg	850	—	1 100	100

Schemele cinematice ale diverselor tipuri de maşini de tip УЗС prezintă multe trăsături constructive comune. Aspectul lor exterior este arătat în fig. 8.6. Ca exemplu se va prezenta descrierea maşinii УЗС-4 (fig. 8.6, *c*). Cu această maşină se pot efectua operaţii de găurire cu precizia pînă la clasa 2, operaţii de tăiere şi frezare, inclusiv frezarea după şablon.

Scanned with OKEN Scanner

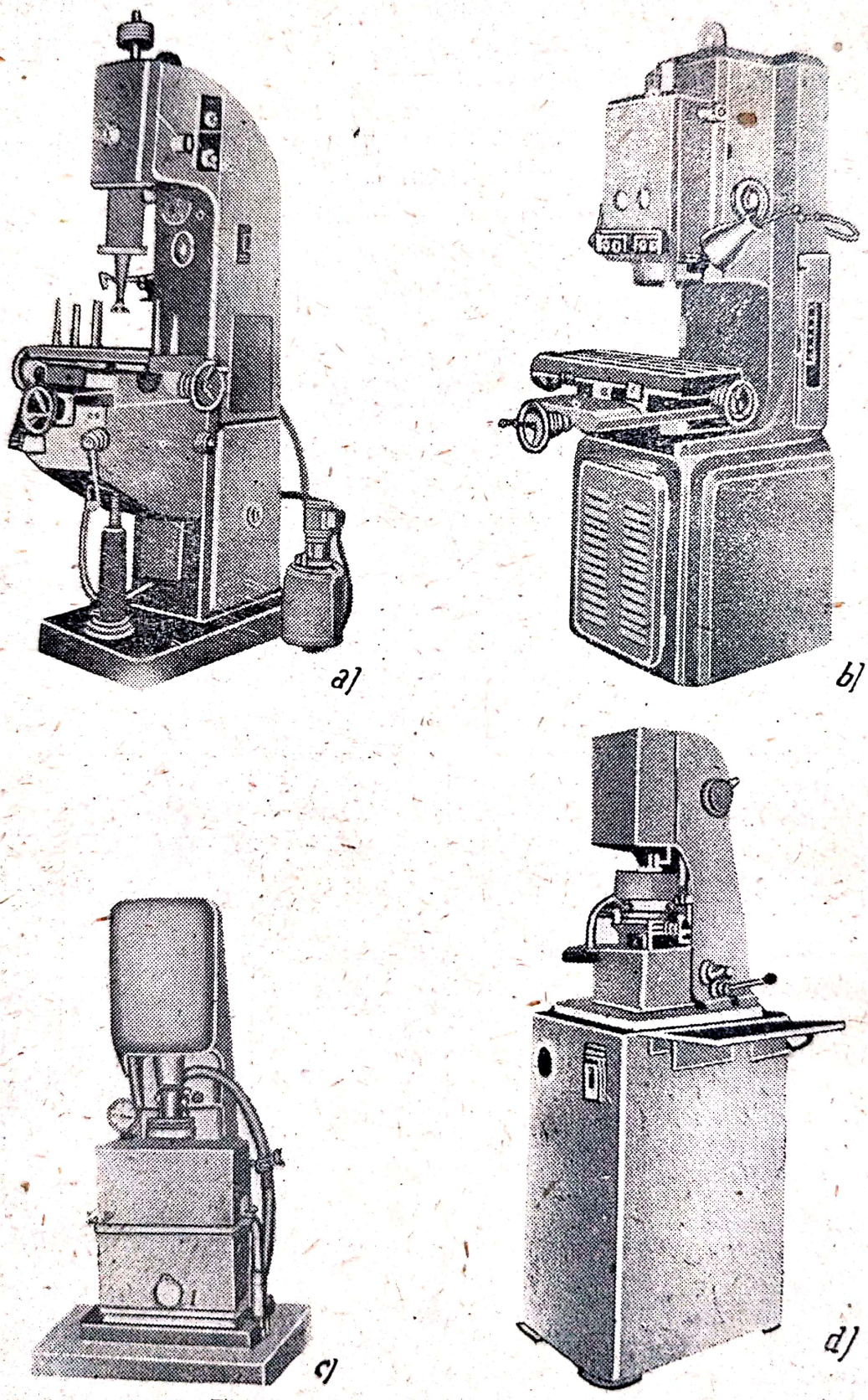


Fig. 8.6. Maşini-unelte cu ultrasunete.

Scanned with OKEN Scanner

În maşină se utilizează un vibrator magnetostrictiv de tip ПМС-5, care este montat pe un cărucior ce se poate deplasa pe verticală în două feluri: pentru cursa de lucru şi pentru potrivire.

Căruciorul este echilibrat cu o contragreutate. Cursa de lucru se face pe nişte ghidaje cu bile, datorită unor greutăţi etalonate. Deplasarea manuală a căruciorului se face cu ajutorul unor manete.

Poziţia inferioară a sculei de lucru este limitată de un opritor micrometric mobil care fixează adîncimea de prelucrare, controlată cu un indicator standard.

Deplasările vibratorii periodice, pe verticală, ale sculei necesare pentru pătrunderea suspensiei în cavitatea supusă prelucrării sînt efectuate de un electromagnet, prin intermediul unui sistem de resorturi şi al unui amortizor cu ulei.

Numărul de deplasări pe minut este stabilit cu ajutorul unui releu pneumatic de timp.

Masa este deplasată manual: mărimea deplasărilor poate fi citită pe un cadran sau este limitată de nişte came.

Deplasări deosebit de exacte pot fi realizate cu ajutorul unor indicatoare.

Pentru fixarea directă a pieselor supuse prelucrării sau a dispozitivelor pe care sînt fixate piesele, pe suprafaţa de lucru a mesei există trei şănţuleţe, dintre care cel din mijloc este de bază.

Maşina-unealtă 4770 (fig. 8.7) este o maşină-unealtă universală, cu ultrasunete de putere mică, destinată prelucrării pieselor din materiale dure şi casante: sticlă, ceramică, materiale semiconductoare, ferite, cuarţ, pietre preţioase, aliaje dure etc. Pot fi executate găuri rotunde şi profilate şi unele cavităţi; de asemenea se execută operaţii de tăiere a semifabricatelor, de gravare, de crestare etc.

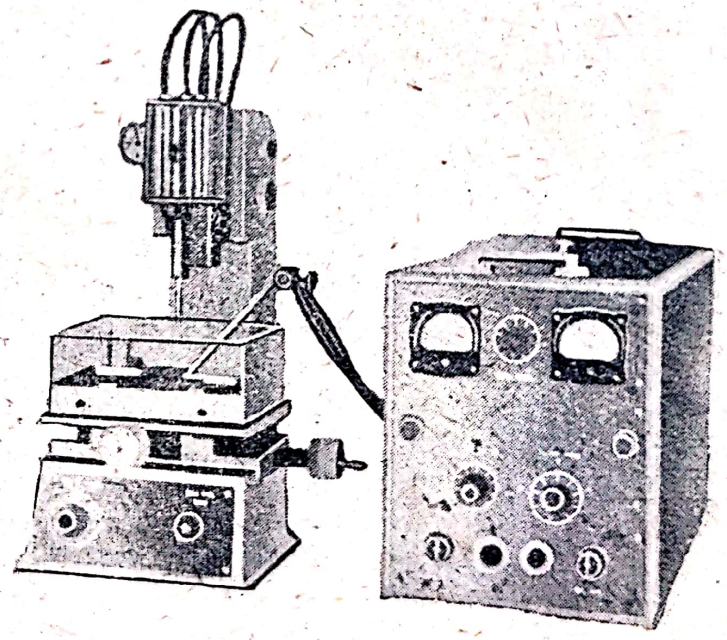


Fig. 8.7. Aspectul exterior al maşinii-unelte cu ultrasunete 4770.

Caracteristicile tehnice ale acestei maşini sînt următoarele:

Diametrele găurilor prelucrate (cu o sculă plină)	0,5—10 mm
Unghiul de rotire a capului în raport cu axa verticală	±90°
Adîncimea maximă de prelucrare	1—2 diametre
Dimensiunile mesei	105×125 mm
Deplasarea longitudinală a mesei	100 mm
Deplasarea transversală a mesei	80 mm

Cursa glisierei	100 mm
Deplasarea capului pe glisieră	110 mm
Forţa de avans	pînă la 4,5 kgf
Sensibilitatea mecanismului de avans	50—100 gf
Frecvenţa de lucru	18— 19 kHz
Puterea generatorului	0,25 kW
Dimensiunile maşinii-unelte (lungimea, lăţimea, înălţimea)	515×420×705 mm
Dimensiunile generatorului (lungimea, lăţimea, înălţimea)	615×325×445 mm
Greutatea totală	155 kg

Volumul mediu de material scos prin prelucrare (în cazul cînd dublul amplitudinii vibraţiilor sculei este de 0,11 mm) este reprezentat în tabela 8.3.

TABELA 8.3

Denumirea materialului prelucrat	Volumul de material îndepărtat, mm³/min
Sticlă	150
Ceramică minerală	60
Germaniu	100
Ferită	80
Carbură de wolfram	5
Oţel călit pentru scule	1

Maşina universală de găurit cu ultrasunete ЭНИМС 4472 (fig. 8.8) este de asemenea proiectată pentru prelucrarea materialelor casante şi dure. Unul dintre subansamblurile principale ale maşinii este un dispozitiv cu ultrasunete, fixat pe maşină care asigură fixarea rigidă şi răcirea unui vibrator magnetostrictiv, precum şi deplasarea exactă pe verticală a sculei, cu forţa de avans necesară.

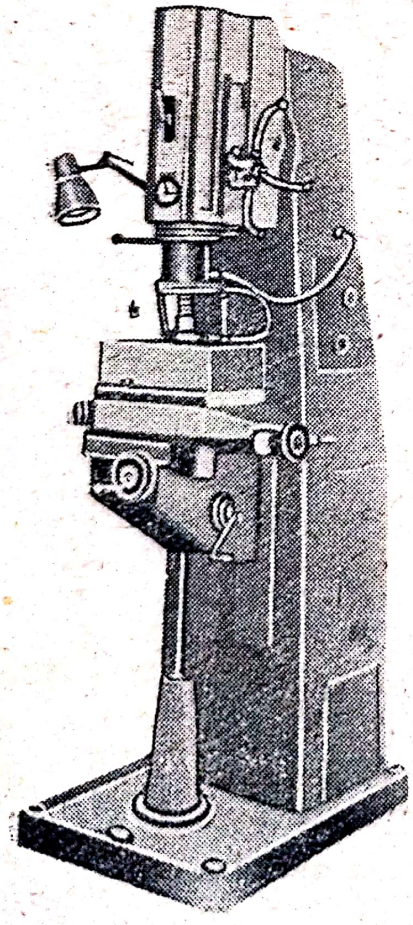


Fig. 8.8 Aspectul general al maşinii-unelte cu ultrasunete 4472.

În interiorul maşinii-unelte sînt amplasate un rezervor pentru suspensia abrazivă şi o pompă, sistemul de reglare a deplasărilor capului, ţevi pentru circulaţia apei de răcire şi a suspensiei abrazive şi întreaga parte electrică a maşinii-unelte (în afară de generator).

Maşina foloseşte un vibrator magnetostrictiv cu două coloane, cu secţiunea de 40×50 mm.

Piesa supusă prelucrării se fixează pe masă cu ajutorul unor piese de prindere. Precizia deplasărilor pe coordonate este asigurată între limitele 0,01—0,02 mm, pentru 100 mm de cursă. Placa mesei este prevăzută cu un mare număr de găuri şi fante, prin care suspensia abrazivă se scurge în rezervor.

Suspensia abrazivă (concentraţia abrazivului este de 30—45% în greutate) se găseşte într-un rezervor cu capacitatea de 8—10 l. Pe acesta este montată o pompă centrifugală A-22 care trimite suspensia într-un inel prevăzut cu orificii pe circumferinţă. Scula de lucru trece prin acest inel şi, în felul acesta, jeturile de suspensie care ies din orificii ajung la locul prelucrării din toate părţile. Pentru găurirea cu ultrasunete este suficient ca suspensia să fie debitată într-un volum de 2—3 l/min; de aceea o mare parte din lichid se scurge în rezervor prin două ţevi. Capetele

ţevilor sînt confecţionate sub forma unor ajutaje din care suspensia iese cu o mare viteză, asigurînd o amestecare intensă a conţinutului rezervorului, lucru care împiedică depunerea abrazivului. Alimentarea vibratorului magnetostrictiv se face de la un generator de ultrasunete УЗМ-1,5 sau de la alt generator de putere apropiată.

Caracteristicile tehnice ale maşinii sînt:

Diametrul maxim al găurilor executate, mm	1—40
Aria optimă de prelucrare, mm²	700
Adîncimea maximă de găurire, mm	30
Dimensiunile mesei, mm	250×350
Deplasarea maximă a mesei mm:	
Longitudinală	100
Transversală	150
Verticală	150
Cursa de lucru a dispozitivului cu ultrasunete, mm	50
Frecvenţa vibraţiilor, kHz	20—22
Puterea generatorului, kW	pînă la 1,5
Dimensiunile maşinii-unelte, mm	560×875×1 850
Greutatea maşinii, kg	700

Maşina-unealtă cu ultrasunete 2УПС *de mare precizie* (fig. 8.9.) serveşte îndeosebi la fabricarea poansoanelor din aliaje dure. Deplasările pe orizontală ale mesei pot fi controlate cu ajutorul unor indicatoare cu ac. Ghidajele mesei sînt protejate sigur împotriva pătrunderii abrazivului.

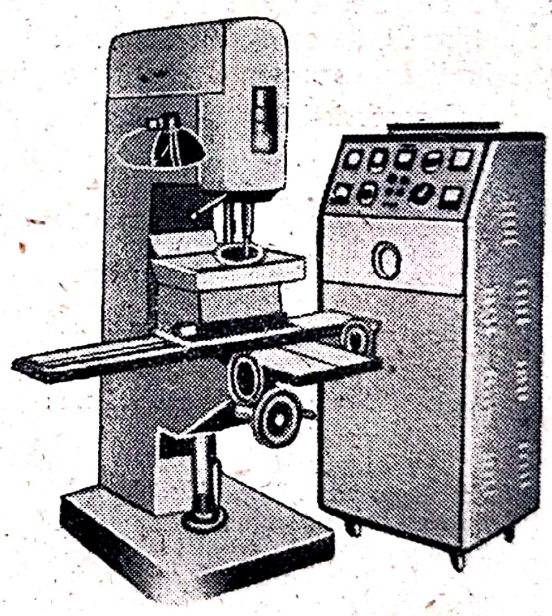


Fig. 8.9. Aspectul exterior al maşinii-unelte de precizie, cu ultrasunete, de tip 2УПС.

Maşina-unealtă de găurit cu ultrasunete, universală, model 4773. Destinaţia principală a maşinii de tipul 4773 constă în prelucrarea matriţelor, poansoanelor şi matriţelor de trefilare din aliaje dure. Maşina se distinge printr-o mare precizie, comoditatea comenzilor, posibilitatea de a prelucra un produs succesiv cu un abraziv de granulaţie mare şi unul de granulaţie mică, în aceeaşi baie. Se evită astfel mutarea produsului dintr-o baie în alta în procesul de prelucrare, lucru nedorit în general.

Batiul este prevăzut cu ghidaje orizontale pentru cursa transversală a mesei cu coordonate şi cu ghidaje verticale pentru deplasarea coloanei. În interiorul batiului sînt amplasate două rezervoare cu pompe pentru debitarea suspensiei de abraziv.

Masa se deplasează pe direcţie longitudinală şi transversală. Ambele deplasări pot fi controlate cu nişte rigle.

Scanned with OKEN Scanner

Traductorul este montat pe flanşa rotativă de pe axul principal.

S-a folosit un sistem vibratoriu în $3\,\lambda/2$. Traductorul cu două coloane este confecţionat din nichel, permendur sau alsifer.

Fixarea sistemului pe cămaşa axului principal se face cu o flanşă, amplasată în nodul de deplasare al unui concentrator de trecere în trepte, confecţionat din oţel-carbon.

Ridicarea şi coborîrea capului cu ultrasunete în procesul de lucru poate fi efectuată cu o manetă sau, în mod automat de către un traductor de vibraţii.

Sistemul de debitare a suspensiei de abraziv se compune din două rezervoare independente cu capacitatea de cîte 20 l, înzestrate cu pompe centrifuge de tip П 45×14-1. Rezervoarele sînt prevăzute şi cu ventile de scurgere electromagnetice pentru eliminarea surplusului de apă după spălarea mesei. Nivelul de instalare a ventilelor de scurgere permite să se lase în rezervoare 6 l de suspensie abrazivă. Conductele de presiune ale pompelor sînt prevăzute, în zona rezervorului, cu mufe de egalizare a presiunii pentru agitarea abrazivului care s-a depus. Trimiterea abrazivului în zona de prelucrare se face cu nişte stropitori de formă inelară.

Pupitrul de comandă este aşezat înclinat pe suprafaţa superioară a mesei. Pe el sînt aşezate toate dispozitivele de blocare şi semnalizare, precum şi butoanele de comandă ale maşinii şi un instrument care controlează valoarea presiunii cu care scula apasă pe piesă.

Caracteristicile tehnice ale maşinii sînt următoarele:

Diametrul găurilor executate, în cazul unei scule pline, mm	3—60
Aria optimă de prelucrare, mm^2	2 000
Adîncimea maximă de prelucrare, mm	30
Cursa capului cu ultrasunete, mm	50
Deplasarea verticală pentru fixarea poziţiei capului cu ultrasunete, mm	300
Rotirea sculei, grade	180
Dimensiunile mesei, mm	400×500
Deplasările maxime ale mesei, mm:	
longitudinală	350
transversală	280
Frecvenţa vibraţiilor, kHz	18
Puterea generatorului, kW	pînă la 4
Productivitatea în cazul prelucrării sticlei pe aria optimă (abrazivul-carbură de bor, nr. 120), mm^3/min	3 000
Productivitatea în cazul prelucrării aliajului dur BK-20, mm^3/min	30—35
Greutatea maşinii (fără generator), kg	1 600
Dimensiunile de gabarit (fără generator), mm	1 755×1 390×2 350

În maşină s-a folosit un sistem oscilant în $4\,\lambda/2$, fixat în două noduri de deplasare ale ghidului de unde, care transmite vibraţiile de la traductor la sculă, ceea ce asigură o mare rigiditate a capului acustic.

O particularitate a maşinii este de asemenea existenţa avansului forţat al sculei, realizat de către un motor electric cu viteza prescrisă, lucru extrem de util în cazul executării găurilor de trecere (se micşorează probabilitatea spargerilor în momentul perforării materialului). Mecanismul de avans permite de asemenea retragerea periodică a sculei.

Scanned with OKEN Scanner

Agregat pentru gravarea pieselor de sticlă. Acesta este un agregat de tip carusel, compus din următoarele subansambluri principale:

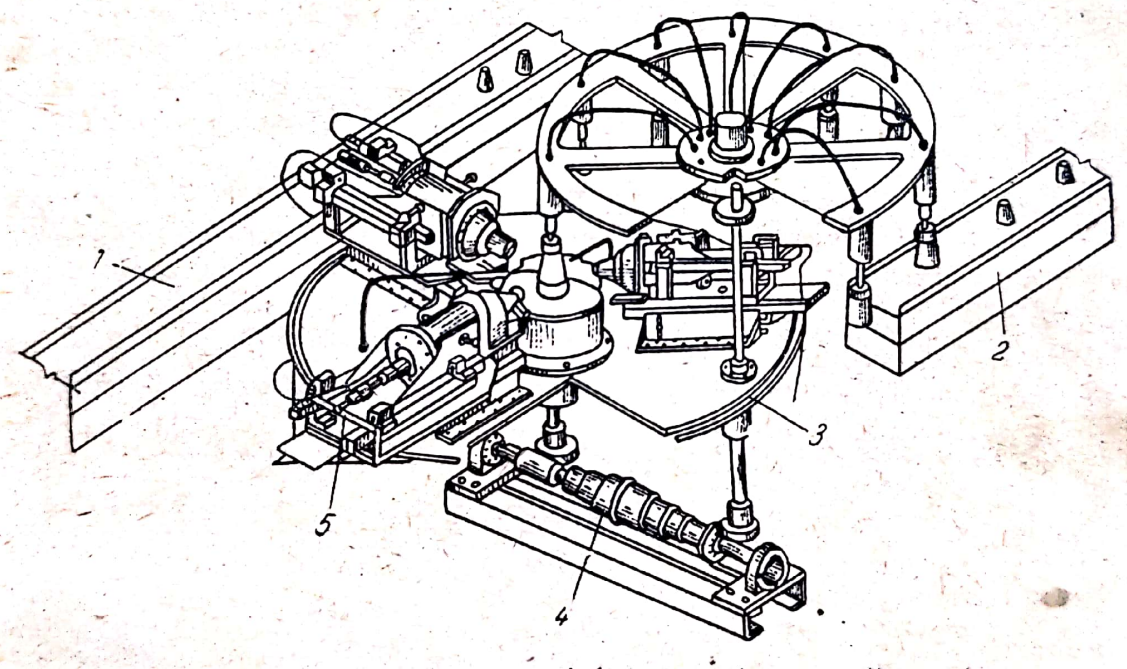
1) un transportor de alimentare cu piesele de sticlă;

2) un dispozitiv carusel de aducere a pieselor de sticlă de la transportorul de alimentare la locul de prelucrare, iar după aceea la transportorul de evacuare care funcţionează conform principiului pompei de vidare;

3) un agregat de prelucrare care realizează apropierea a trei capete cu ultrasunete sub un unghi de 120° faţă de piesa de sticlă, prelucrarea şi retragerea capetelor;

4) un agregat de spălare a pieselor prelucrate;

5) un transportor de evacuare a pieselor prelucrate de la maşina-unealtă;



8.10. Agregat pentru trasarea unui desen pe pahare, cu ultrasunete:
1 — transportorul de debitare a paharelor; 2 — transportorul de ridicare a paharelor de pe maşina-unealtă; 3 — apă pentru răcirea vibratorului, de la instalaţia de apă; 4 — acţionare cu mufe electromagnetice; 5 — canal de scurgere a apei din cilindrul care conţine vibratorul.

6) un dulap cu aparataj de comandă care asigură ordinea de funcţionare a diverselor subansambluri în procesul de prelucrare;

7) trei generatoare de ultrasunete УЗМ-1,5.

Aspectul general al agregatului este arătat în fig. 8.10.

Caracteristicile tehnice ale agregatului sînt următoarele:

Destinaţia — obţinerea unor desene mate complete şi conturate pe piese de sticlă cu diametrul	30 pînă la 100 mm
Suprafaţa totală (calculată) a figurilor de pe un produs	900 mm²
Prelucrarea produsului se face concomitent din trei părţi, sub un unghi de 120°	
Productivitatea maşinii	550 piese de sticlă pe oră
Durata unui ciclu	6,5 s
Tipul de vibrator: de nichel, cu patru coloane, şi cu frecvenţa de lucru de	29,8 kHz

Fiecare dintre cele 3 capete cu ultrasunete este alimentat de la un generator de ultrasunete independent de tip УЗМ-1,5.
Scula prelucrătoare (matriţa desenului) este confecţionată din tablă de alamă sau de oţel cu lungimea de 24 mm
Durata de serviciu neîntreruptă a matriţei 48 ore
Modul de fixare pe concentrator: sudură electrică cap la cap, pe generatoarea desenului.
Abrazivul carbură de bor nr. 120—180

c) Echipament pentru prelucrarea metalelor prin tăiere

Pentru prelucrarea metalelor prin tăiere cu ajutorul ultrasunetelor au fost create capete cu ultrasunete pentru o maşină de frezat orizontală şi o păpuşă mobilă universală cu ultrasunete pentru strung.

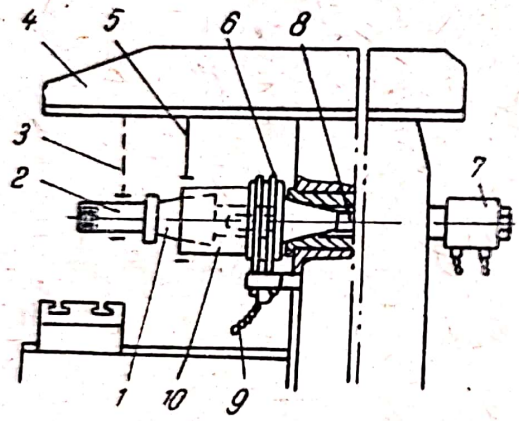


Fig. 8.11. Schema de principiu a unui cap de frezare cu ultrasunete (model experimental):
1 — transformator de viteză; *2* — freză; *3* — lunetă auxiliară; *4* — braţul maşinii-unelte; *5* — lunetă principală de susţinere; *6* — inel de contact pentru alimentarea cu energie electrică; *7* — colector pentru apă; *8* — ax principal; *9* — spre generatorul de vibraţii ultrasonore; *10* — cap cu vibrator magnetostrictiv.

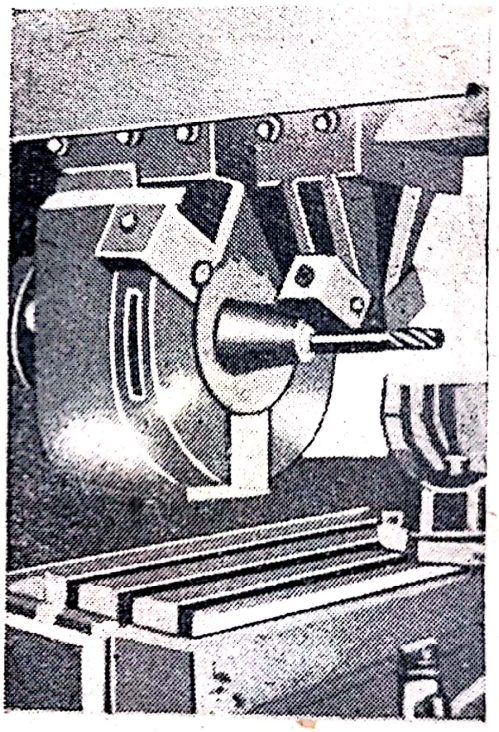


Fig. 8.12. Cap de frezare cu ultrasunete montat pe maşina-unealtă ТГ-2.

Capul de frezare cu ultrasunete serveşte la executarea operaţiilor de frezare cu ajutorul vibraţiilor ultrasonore ale unor freze speciale. Capul cu ultrasunete se compune din următoarele subansambluri principale (fig. 8.11): un vibrator magnetostrictiv cu transformator de vibraţii elastice, scula tăietoare — o freză specială, carcasa capului, suportul principal al lunetei, luneta auxiliară, troleul (colectorul pentru alimentarea electrică a traductorului magnetostrictiv) şi colectorul pentru aducerea lichidului de răcire (apă).

Carcasa capului cu vibrator magnetostrictiv este pusă în mişcare de rotaţie de axul principal al maşinii-unelte, prin intermediul cozii conice a capului, fixată pe axul principal.

Utilizarea capului de frezare cu ultrasunete permite să se micşoreze simţitor forţa de tăiere, prin suprapunerea unor vibraţii ultrasonore imprimate sculei care se roteşte în jurul axei sale.

Aspectul exterior al maşinii de frezat ТГ-2 cu cap cu ultrasunete este arătat în fig. 8.12.

Păpuşa mobilă universală cu ultrasunete de tip УЗБ-1 a fost realizată pentru strungul ДнП-200 М. Dispozitivul УЗБ-1 serveşte la tăierea filetelor, alezarea, găurirea şi zencuirea cu ultrasunete, pe lîngă efectuarea operaţiilor obişnuite (fără ultrasunete, cu ajutorul unei scule standard).

Păpuşa (fig. 8.13) se compune din următoarele părţi principale: carcasa pinola, mecanismul de avans şi de decuplare a pinolei, vibratorul magneto-

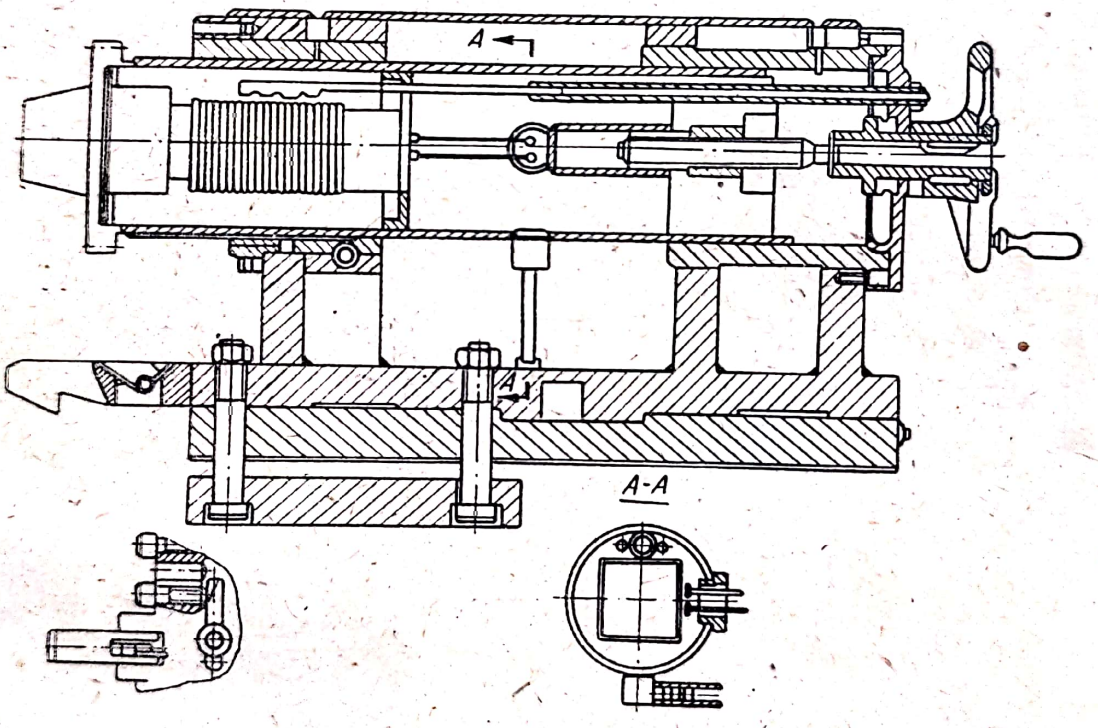


Fig. 8.13. Aspectul general al păpuşii mobile universale cu ultrasunete de tip УЗБ-1 pentru strungul ДнП-200 (model experimental).

strictiv cu transformator de vibraţii elastice, dispozitivul pentru aplicarea tensiunii de vibrator şi pentru debitarea lichidului de răcire.

Pinola are o cursă longitudinală de-a lungul axei sale împreună cu vibratorul magnetostrictiv montat pe el, prevăzut cu transformator de vibraţii elastice, pe a cărui parte frontală este fixată scula. Pentru uşurarea condiţiilor de tăiere a filetului, pinola poate fi deplasată cu un şurub de avans. Pentru ca această păpuşă să poată fi folosită pentru operaţiile obişnuite (fără ultrasunete, efectuate cu o sculă standard), în transformatorul de vibraţii elastice există un con Morse. Păpuşa mobilă universală cu ultrasunete poate fi montată pe orice strung cu înălţimea vîrfurilor de cel puţin 200 mm.

Scanned with OKEN Scanner

8.3. APARATAJ PENTRU SUDAREA CU ULTRASUNETE

Aparatajul cu ultrasunete folosit în tehnica sudării are trei destinaţii: sudarea prin topire, sudarea maselor plastice şi sudarea metalelor.

a) Aparataj pentru utilizarea ultrasunetelor la sudarea prin topire

Iradierea cu ultrasunete a unui metal lichid care cristalizează în baia de sudare (fig. 8.14) se poate realiza în trei moduri: prin metalul supus sudării (fig. 8.14, *c*); prin contactul dintre partea frontală termostabilă (sau răcită) a sculei şi baia de sudare (fig. 8.14, *b*); prin intermediul unei sîrme cufundate în baie (fig. 8.14 a). Cele mai numeroase aplicaţii le au ultimele două metode.

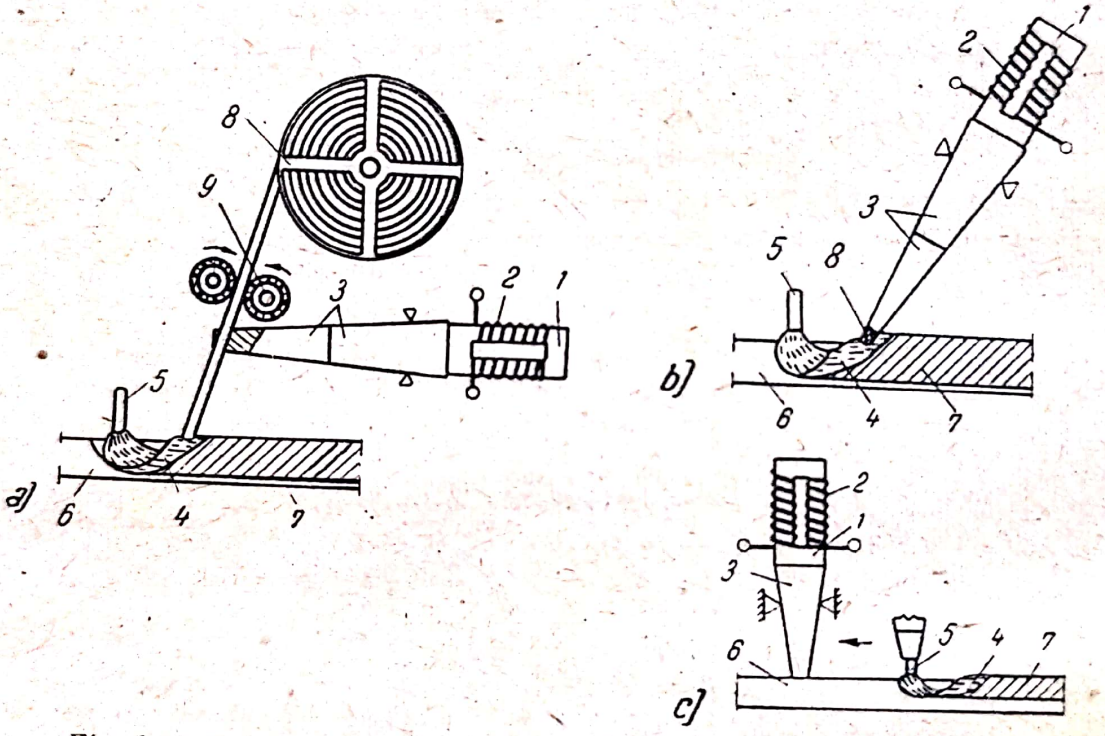


Fig. 8.14. Folosirea ultrasunetelor în procesele de sudare prin topire:
a — în cazul transmiterii ultrasunetelor prin intermediul unei sîrme speciale; *1* — vibrator magnetostrictiv; *2* — bobinaj pentru curentul de înaltă frecvenţă şi premagnetizare; *3* — transformator acustic; *4* — baie de sudare; *5* — electrod; *6* — produs; *7* — cusătură; *8* — casetă; *9* — role de debitare; *b* — în cazul transmiterii ultrasunetelor direct în baia de sudare: *1* — vibrator magnetostrictiv; *2* — bobinaj pentru curentul de înaltă frecvenţă şi premagnetizare; *3* — transformator acustic; *4* — baie de sudare; *5* — electrod; *6* — produs; *7* — cusătură; *8* — piesă terminală termostabilă; *c* — în cazul transmiterii ultrasunetelor prin piesele care trebuie sudate: *1* — vibrator magnetostrictiv; *2* — bobinaj pentru curentul de înaltă frecvenţă şi premagnetizare; *3* — transformator acustic; *4* — baie de sudare; *5* — electrod; *6* — produs; *7* — cusătură.

Metoda utilizării ultrasunetelor la sudarea prin topire îşi găseşte aplicaţie în cazul sudării electrice verticale cu arc înecat, în cazul sudării în baie sub flux şi cu termit a barelor etc. Conform acestei metode, iradierea cu ultrasunete a băii de sudare se realizează cu ajutorul unui ghid de unde cilindric sau al unui transformator acustic exponenţial, cuplat cu vibratorul magneto-

strictiv. Este necesar să se răcească bine dispozitivul care transmite ultrasunetele (de pildă transformatorul acustic), deoarece el este cufundat direct în metalul topit. Chiar în cazul răcirii, însă, pentru a se evita distrugerea extremităţii transformatorului, acesta este acoperit cu o piesă terminală de cupru, care poate fi schimbată. Metoda de transmitere a ultrasunetelor în baia de sudare prin intermediul unei sîrme introduse în baie este utilizată atît pentru sudarea verticală, cît şi pentru cea orizontală. Rezultate bune se obţin în cazul sudării electrice cu arc înecat. Sîrma este debitată în baia de sudare cu ajutorul unui mecanism oarecare cu role, de pildă automatul AOC-1000-2, adaptat pentru debitarea sîrmei cu o viteză cuprinsă între 0,5 şi 2 cm/s.

În cazul sudării orizontale, vibratorul magnetostrictiv poate fi fixat pe căruciorul automatului. Viteza de debitare a sîrmei se alege de obicei pentru fiecare caz în parte în funcţie de materialul sîrmei, diametrul ei şi regimul de sudare. Alegerea materialului sîrmei care transmite vibraţiile, este determinată de condiţiile impuse compoziţiei chimice a metalului topit; cu această ocazie se ţine seama de faptul că mărirea rigidităţii sîrmei vibratoare îmbunătăţeşte transmiterea ultrasunetelor în baia de sudare. Pentru trecerea sîrmei prin transformatorul acustic, la capătul acestuia s-a prevăzut un dispozitiv alunecător special, care — pe de-o parte trebuie să asigure contactul sîrmei cu transformatorul, iar pe de altă parte nu trebuie să împiedice întinderea sîrmei.

b) Aparataj pentru sudarea cu ultrasunete a maselor plastice

Instalaţia (fig. 8.15) pentru sudarea cu ultrasunete a maselor plastice[1]) se compune din următoarele subansambluri principale: un vibrator magnetostrictiv răcit cu apă *1*, cuplat cu transformatorul acustic 2 care constituie simultan şi unul dintre electrozi. În timpul sudării, produsul este strîns între capătul transformatorului acustic şi piesa de strîngere mobilă 3, căreia i se aplică forţa necesară pentru crearea presiunii în procesul de sudare. Sudarea are loc în momentul aplicării unui curent electric de înaltă frecvenţă, de la generatorul de ultrasunete, bobinajului vibratorului. Vibraţiile elastice de înaltă frecvenţă care apar în acest caz în vibratorul magnetostrictiv se transmit prin extremitatea transformatorului acustic sub forma unor deplasări mecanice verticale, de frecvenţă mare. Valoarea amplitudinii vibra-

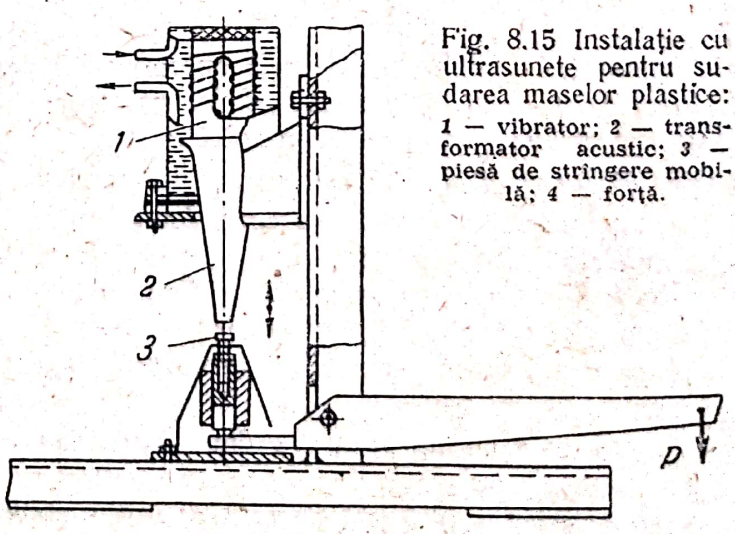


Fig. 8.15 Instalaţie cu ultrasunete pentru sudarea maselor plastice: *1* — vibrator; 2 — transformator acustic; 3 — piesă de strîngere mobilă; 4 — forţă.

[1]) Realizată de *Nikolaev* şi *Olşanski*.

ţiilor poate fi de ordinul a 15—20 μ. Presiunea necesară pentru sudare este determinată de grosimea materialului (pentru viniplast cu grosimea de 10 mm, ea este egală cu aproximativ 60—80 kgf/cm^2). Durata procesului de sudare depinde de grosimea şi proprietăţile materialului care urmează a fi sudat. În cazul sudării în puncte şi cu presare, durata supunerii la vibraţii elastice este reglată de un releu electronic, cu gama de reglare cuprinsă între 0,1 şi 8 s.

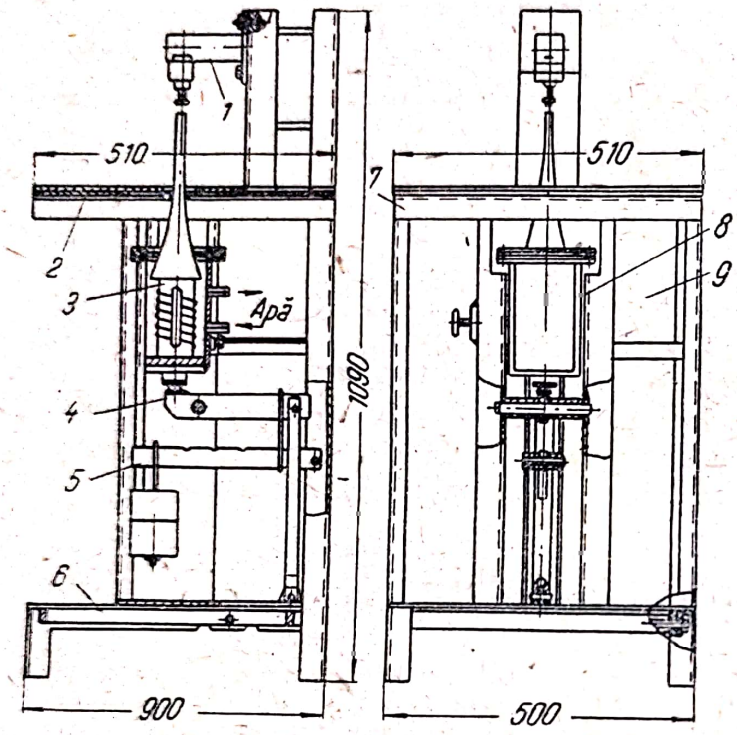


Fig. 8.16. Aspectul general al instalaţiei ПУТ-3:
1 — consolă; *2* — capac; *3* — vibrator; *4* — pîrghie; — pîrghie; *6* — pedală; *7* — carcasă; *8* — ghidaj; *9* — releu de timp.

Această metodă de sudare este utilizată într-o instalaţie (fig. 8.16) pentru sudarea în puncte, sau cu presare, a maselor plastice. Cu acest aparat sudarea se face automat.

Vibratorul este aşezat în partea de jos şi se aplică o presiune. Dispozitivul de strîngere rigidă este amplasat în partea de sus. Maşina este prevăzută cu electrozi de schimb, care permit să se realizeze sudarea în puncte sau sudarea cu presare (în ultimul caz sudarea se face pe întregul perimetru de îmbinare sau pe întreaga suprafaţă a produsului).

Pentru sudarea maselor plastice cu ultrasunete, sub formă de „cusătură", se foloseşte aparatul ПУТ-3. În acest aparat, spre deosebire de aparatul ПУТ-2 în locul opritorului fix superior s-a folosit o rolă. Foile care urmează a fi îmbinate sînt strînse, sub presiunea rolei rotitoare, şi se deplasează lent. Ultrasunetele se transmit în jos prin extremitatea vibratorului.

Cu aparatele menţionate se sudează diverse feluri de mase plastice cu grosimea de la 0,1 pînă la 10 mm, grosimile menţionate neconstituind o limită. Rezultate bune se obţin în cazul sudării: sticlei organice, viniplastului, polietilenei, policlorurii de vinil, capronului (primar şi secundar), nylonului, poliamidelor, peliculei de împachetat, fluoroplastului 3, masei plastice ПОВ-50 ş.a.

c) Aparataj pentru sudarea cu ultrasunete a metalelor

În aparatele existente pentru sudarea metalelor cu ultrasunete, excitarea unor vibraţii elastice în obiectele care urmează a fi sudate se realizează cu ajutorul unui vibrator: a) cu transformator acustic (ghid de unde) transversal

şi b) cu ghid de unde longitudinal şi proeminenţă laterală de sudare. În ultimul timp, pentru sudarea oţelului se utilizează vibraţiile de torsiune, produse de vibratoarele magnetostrictive.

Schema aparatului cu ghid de unde transversal (fig. 8.17, *a*) se bazează pe faptul că vibraţiile mecanice de frecvenţă ultrasonoră se transmit de la vibratorul magnetostrictiv, prin intermediul unui transformator acustic longitudinal în formă de pană (tip cuţit) la un ghid de unde transversal în formă de bară. Ghidul în formă de bară se alege în aşa fel, încît vibraţiile transversale care apar în el să fie la rezonanţă cu vibraţiile ghidului de unde longitudinal. Piesele care urmează a fi sudate se aşază pe capătul interior al ghidului de unde transversal, unde apar eforturi tangenţiale maxime. Strîngerea se realizează cu un dispozitiv special prin ghidul de unde reflectant inferior.

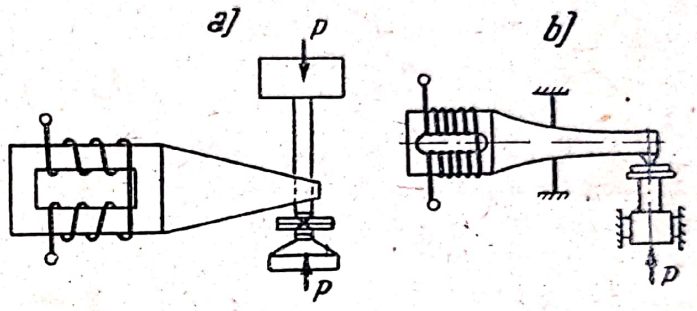


Fig. 8.17. Schema vibratoarelor pentru sudarea cu ultrasunete a metalelor:
a — cu ghid de unde transversal; *b* — cu proeminenţa laterală de sudare.

Schema cu proeminenţă laterală de sudare (fig. 8.17, *b*) se compune dintr-un vibrator magnetostrictiv şi un ghid de unde longitudinal la capătul căruia se găseşte proeminenţa de sudare. Piesa supusă sudării este strînsă între proeminenţa de sudare şi o placă care transmite forţa de strîngere. Momentul de încovoiere care acţionează asupra ghidului de unde este sesizat de o diafragmă şi un opritor special, amplasat în nodul deplasărilor ghidului de unde. Produsul este apăsat pe proeminenţa laterală, aşezată la capătul liber al ghidului de unde vibratoriu. Această schemă este folosită la toate aparatele de sudat cu ultrasunete fabricate în prezent în Uniunea Sovietică.

Instalaţiile pentru sudarea cu ultrasunete posedă următoarele subansambluri principale: blocul acustic, compus dintr-un vibrator şi un ghid de unde (cu subansamblul de fixare pe batiu); scula de sudare; batiul; mecanismul de presiune; releul de timp; generatorul de ultrasunete.

Blocul acustic se compune dintr-un vibrator şi un transformator acustic. În maşinile de sudat se folosesc de obicei vibratoare magnetostrictive tip pachet, deşi — în principiu — se pot utiliza şi vibratoare piezoelectrice. Vibratoarele sînt alimentate de la un generator de înaltă frecvenţă.

Transformatorul acustic este îmbinat rigid cu vibratorul magnetostrictiv, prin lipire sau prin sudare cap la cap, şi face posibilă transmiterea vibraţiilor ultrasonore piesei care trebuie sudată. Cu ajutorul subansamblului de fixare, blocul acustic se montează pe batiu.

Scula de sudare. La maşinile de sudat în puncte, principala sculă de sudare este un ştift. Materialul ştiftului se alege în funcţie de duritatea materialelor care urmează a fi sudate. Cea mai largă răspîndire o au ştifturile din oţel călit sau cu metal dur depus prin sudare. Capul de sudare al ştiftului are

o formă sferică, de obicei cu raza de 25—50 mm. Pentru sudarea materialelor dure este raţional să se folosească sfere de rază mai mică.

La maşinile de sudat cu cusătură, capătul transformatorului acustic (electrod) are formă de disc. Al doilea electrod, aşa-numitul electrod de frînare, este făcut de regulă de formă plată.

Formele diferite ale sculei şi posibilitatea schimbării ei rapide sînt asigurate prin fixarea ştiftului în transformatorul acustic cu ajutorul unui con. Fixarea sculei cu ajutorul unui filet este mai puţin sigură, deoarece concentrarea eforturilor pe filet slăbeşte apreciabil locul de fixare.

Batiul. Forma batiului depinde în mare măsură de destinaţia maşinii şi de puterea acesteia, însă particularitatea caracteristică a tuturor batiurilor este rigiditatea mare, care asigură pierderi minime de energie prin excitarea elementelor inactive.

Mecanismul de presiune. Transmiterea efortului de comprimare către piesele care urmează a fi sudate se face cu un sistem mecanic (un sistem de pîrghii şi greutăţi, hidraulic sau pneumatic, pornind de la condiţiile de lucru concrete).

Valoarea efortului variază în funcţie de grosimea metalului supus sudării, de la zeci pînă la sute de kilograme.

Releul de timp asigură dozarea precisă a timpului de trecere a ultrasunetelor. Se construiesc relee de timp cu gama de întîrziere cuprinsă între 0,1 şi 15—20 s.

Generatorul de ultrasunete. Pentru alimentarea vibratoarelor magnetostrictive ale aparatelor de sudat se folosesc generatoare electronice de tipul УЗГ şi УЗМ. În aceste scopuri pot fi utilizate şi maşini electrice generatoare.

Aparatele de sudat destinate sudurii cu cusătură se deosebesc de cele pentru sudarea în puncte prin existenţa unui subansamblu rotitor în care se amplasează vibratorul, transformatorul acustic şi scula de sudare. Aparatele care sudează table mari au console de lungime apreciabilă, care asigură deplasarea electrodului pînă la locul de sudare.

Aparate de sudat cu ultrasunete de tip УТ şi УЗ *CM.* Maşina de sudat cu ultrasunete, în puncte, de tip УТ-5, cu mecanism de presiune cu acţionare electromagnetică şi cu greutăţi, serveşte în special la sudarea unor piese avînd grosimea pînă la 0,6—0,8 mm. Ea posedă un transformator de viteză exponenţial, cu piesă terminală care poate fi schimbată. Maşina este construită sub forma unei mese, în interiorul căreia este montat mecanismul de presiune alcătuit din greutăţi şi un sistem de pîrghii cu ajutorul căruia se poate crea o presiune necesară de sudare pînă la 400 kgf. Pentru comoditatea lucrului, mecanismul de presiune cu greutăţi este pus în funcţiune numai în timpul sudării.

În funcţie de grosimea pieselor care urmează a fi sudate, mărimea interstiţiului dintre proeminenţa transformatorului acustic şi dispozitivul de strîngere poate fi variat cu ajutorul unui şurub de reglare. La apăsarea pe o pedală, intră în funcţiune un electromagnet care acţionează asupra mecanismului de presiune cu greutăţi. Pentru a se asigura o funcţionare lină mecanismul de presiune este prevăzut cu un amortizor cu ulei.

Scanned with OKEN Scanner

Maşina de sudat în puncte cu ultrasunete tip УТ-6 serveşte la sudarea pieselor de dimensiuni mari (lungimea consolelor 1 000 mm) şi cu grosimea de 0,6—0,8 mm. Mecanismul de presiune este pneumatic (pînă la 1 000 kgf) şi se reglează cu ajutorul unui reductor. Controlul valorii presiunii se face prin intermediul unui manometru. Presiunea reţelei de distribuţie a aerului este stabilizată.

Pistolul portabil pentru sudarea în puncte cu ultrasunete tip УТ-П serveşte mai ales la sudarea unor table subţiri (0,1—0,4 mm) pe piese masive. Greutatea instalaţiei portative este de 7,5 kg. Maşina este destinată sudării dintr-o singură parte. Pentru a se uşura lucrul, maşina УТ-П poate fi suspendată de un cablu şi poate fi echilibrată cu o contragreutate, prin intermediul unui scripete. Pistolul poate fi transformat într-o maşină fixă, prin instalarea pe o masă. Acţionarea mecanismului care realizează presiunea de sudare la această maşină este manuală. Presiunea de sudare limită care poate fi dezvoltată este de 50 kgf, efortul de apăsare pe manetă fiind de 25 kgf. Valoarea presiunii se reglează prin forţa de comprimare a unui resort. Cînd se atinge presiunea de sudare prescrisă, intră în funcţiune un întrerupător de cap de cursă şi un releu de timp asigură durata de sudare prescrisă.

Aparatul de sudat cu ultrasunete УЗСМ-*1* (fig. 8.18) serveşte la sudarea în puncte a metalelor în formă de table subţiri.

Aparatul se compune din următoarele subansambluri principale: un vibrator magnetostrictiv ПМС-15; mecanismul de producere a efortului de contact; un releu electronic de timp; un tablou de comandă; un generator de tip УЗГ-10 sau УЗГ-2,5.

Vibratorul magnetostrictiv ПМС-15 constituie o variantă modificată a vibratorului ПМС-7 *a*. El are un pachet din tole de permandur cu dimensiunile 65×65×120 mm; frecvenţa proprie a vibratorului, fără sculă, este de 19±0,5 kHz. Puterea electrică este de 2,5 kW.

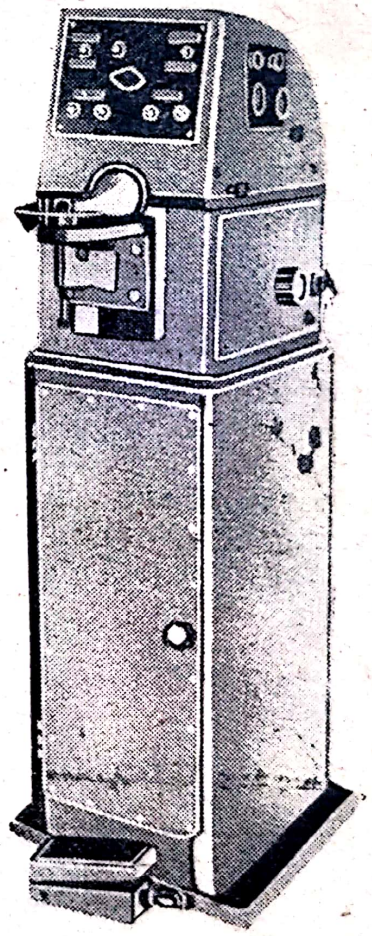


Fig. 8.18. Aspectul exterior al instalaţiei de sudare cu ultrasunete УЗСМ-1.

Efortul de contact este creat cu ajutorul unui dispozitiv pneumatic cu diafragmă, la care s-a prevăzut posibilitatea reglării fine între limitele 20—150 kgf±10%. Reglarea efortului se face prin variaţia presiunii aerului, cu un regulator de presiune. Controlul şi reglarea efortului de contact se fac folosind indicaţiile unui manometru cu aer, a cărui scară este etalonată de la 20 pînă la 150 kgf. În scopul obţinerii unui efort de contact mai stabil, îndeosebi în cazul ciclurilor de sudare scurte, între regulatorul de presiune şi diafragmă s-a montat un recipient de aer comprimat.

Releul electronic de timp asigură reglarea fină a ciclului de sudare între limitele 0,1—4 s. Schema electrică permite funcţionarea în regim semiautomat şi manual.

Caracteristicile principale ale aparatului sînt:

Puterea vibratorului magnetostrictiv ПМС-15, kW	2,5—4
Gama frecvenţelor de lucru, kHz	19±0,5
Tensiunea maximă de lucru, V	600
Efortul de contact, kgf	20—150
Distanţa maximă de la punctul de sudare pînă la marginea piesei, mm	75
Debitul de apă maxim, l/min	3
Debitul maxim de aer la 4 at, dm^3/min	3
Dimensiunile de gabarit, mm:	
înălţimea	1 250
lăţimea	430
lungimea	670
Greutatea, kg	120

Aparatul de sudat cu ultrasunete УЗСА-3 este constituit dintr-un cap de sudare portativ manual, care se fixează pe construcţia de sudat (fig. 8.19) cu ajutorul unei ventuze cu vid. Din componenţa capului de sudare fac parte: un vibrator ultrasonor, un dispozitiv pentru producerea şi reglarea efortului static şi o ventuză cu vid.

Vibratorul ultrasonor pentru sudare (de tip ПМС-11А) este un vibrator magnetostrictiv mai uşor, creat în mod special pentru condiţiile respective. Efortul static se produce apăsînd cu mîna, prin intermediul unor pîrghii, un resort etalonat. Amorsarea şi dezamorsarea vibraţiilor se realizează cu ajutorul unui întreruptor care

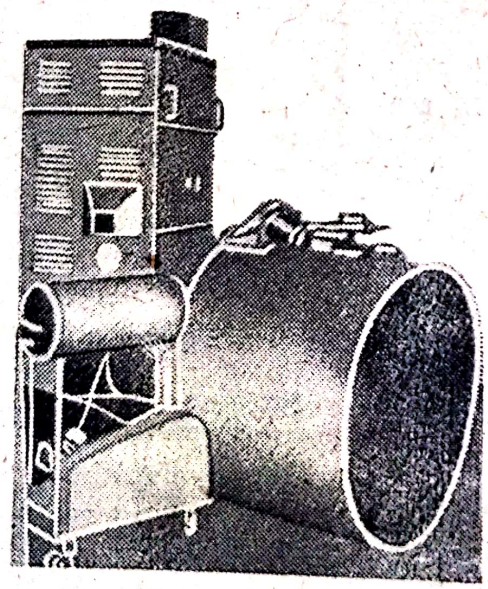


Fig. 8.19. Sudarea cu ultrasunete folosind aparatul УЗСА-3.

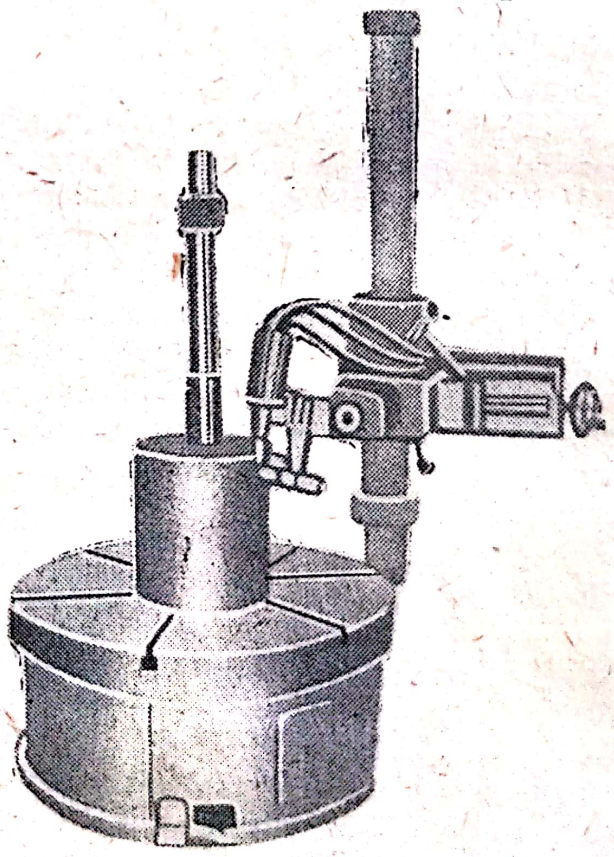


Fig. 8.20. Aparat de tip УЗ СА-4 cu cap de sudare cu ultrasunete.

Scanned with OKEN Scanner

intră în funcţiune la comprimarea resortului. Pentru instalarea şi fixarea capului de sudare s-a folosit o ventuză cu vid care serveşte drept bază pentru consola vibratorului şi dispozitivul cu pîrghie.

Prin intermediul unui furtun flexibil ventuza este pusă în legătură cu o instalaţie de vidare compusă dintr-o pompă de vidare preliminară BH-461 cu motor electric şi recipient de aer, în care se menţine o rarefiere de lucru de cel puţin 0,5 ata.

Aparatul permite să se efectueze sudarea în puncte la o distanţă apreciabilă de sursa de alimentare.

Aparatul de sudat cu ultrasunete УЗСА-4. Sudarea în puncte cu ultrasunete a pieselor cu înălţimea pînă la 1 100—1 200 mm (în cazul unui diametru de acelaşi ordin de mărime) poate fi realizată cu un aparat de tip УЗСА-4 (fig. 8.20), prevăzut cu cap de sudare cu ultrasunete. Capul se fixează pe o traversă pusă în mişcare printr-o acţionare hidraulică, pe o coloană montată pe o masă rotativă, pe a cărei planşaibă se fixează piesa. Capul se compune dintr-un vibrator magnetostrictiv şi un mecanism de apăsare care asigură fixarea piesei supusă sudării şi care produce sarcina statică necesară, a cărei valoare se reglează cu o manetă şi se controlează pe scara unui aparat de măsurat. Durata prescrisă a perioadei de aplicare a vibraţiilor ultrasonore este asigurată de un releu electronic de timp.

Aparatul de sudat cu ultrasunete УЗМС-2 (fig. 8.21) serveşte la sudarea cu cusătură a tablelor metalice subţiri.

Aparatul se compune din următoarele subansambluri principale: un vibrator magnetostrictiv ПМС-15, o acţionare cu reductor, un mecanism de producere a efortului de contact, un tablou de comandă şi un generator de tip УЗГ-10 sau УЗГ-2,5. Ambelor role, cea de sudare şi cea de sprijin, li se imprimă o rotaţie forţată, pentru a se evita alunecarea în timpul sudării. Drept motor de acţionare se utilizează un motor de curent continuu, la care s-a prevăzut posibilitatea reglării fine a turaţiei. Efortul de contact este produs de operator prin apăsarea cu piciorul a unui sistem de pîrghii şi a unui resort etalonat, a cărui rigiditate poate fi reglată. Pe o scară indicatoare de presiuni, al cărei ac este cuplat cu resortul, se determină efortul de contact. Amorsarea şi dezamorsarea vibraţiilor se realizează în mod automat, tot de către pedala mecanismului de apăsare.

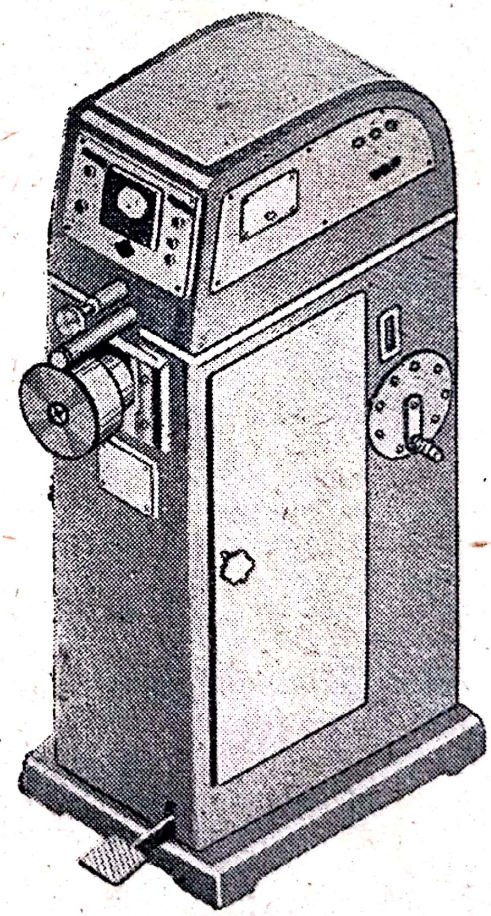


Fig. 8.21. Aspectul exterior al aparatului de sudat cu ultrasunete УЗСМ-2.

Datele principale ale aparatului sînt:

Puterea vibratorului magnetostrictiv de tip ПМС-15, kW	2,5—4
Frecvenţa de lucru, kHz	19,5
Puterera motorului electric de acţionare, kW	0,12
Efortul de contact, kgf	20—140
Viteza de sudare, mm/min	75—850
Distanţa maximă de la cusătura sudată pînă la marginea piesei, mm	135
Dimensiunile de gabarit, mm	
înălţimea	1 320
lăţimea	490
lungimea	950
Greutatea aparatului de sudat, kg	200

Instalaţie de sudat bazată pe vibraţii de torsiune. Pe lîngă sistemele de sudare bazate pe vibraţii ultrasonore longitudinale şi transversale, în ultimul timp au început să se utilizeze instalaţii de sudat în care se folosesc vibraţii de torsiune. La o instalaţie de acest fel (fig. 8.22) pentru producerea vibraţiilor

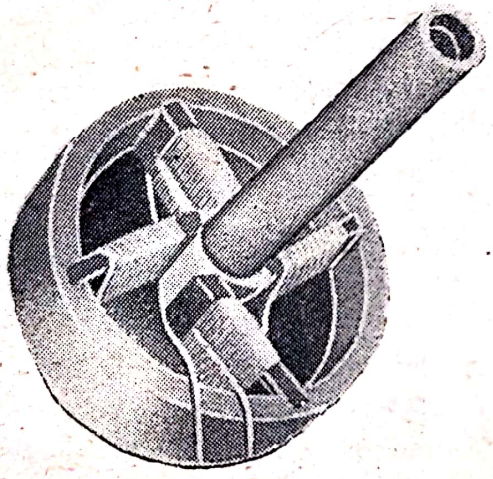


Fig. 8.22. Dispozitiv magnetostrictiv pentru producerea vibraţiilor de torsiune ale capului de sudare.

de torsiune ale ghidului de unde folosit pentru sudare, se utilizează patru vibratoare magnetostrictive, amplasate perpendicular pe ghidul de unde şi sub un unghi de 90° unul faţă de altul. Ca rezultat, la vîrful de sudare se creează deplasări de torsiune apreciabile.

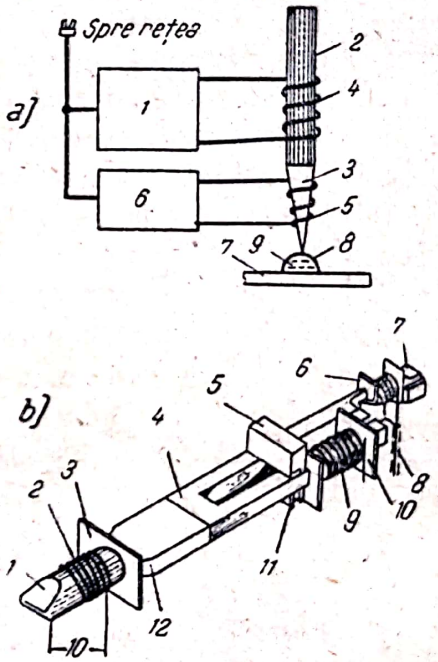


Fig. 8.23. Schemă constructivă a unui ciocan de lipit cu ultrasunete:

a — schema electrică a aparatului: *1* — generator; *2* — vibrator; *3* — ciocan de lipit; *4* — bobinajul de excitare a vibratorului; *5* — bobinaj de încălzire; *6* — transformator coborîtor de tensiune; *7* — aluminiu; *8* — aliaj topit; *9* — bule de cavitate; *b* — schema ciocanului de lipit: *1* — capul ciocanului; *2* — radiator de căldură; *3* — membrană; *4* — vibrator magnetostrictiv; *5* — clemă; *6* — bobină; *7* — capacitate de reacţie; *8* — conductor de aplicare a excitaţiei; *9* — bobinaj de excitaţie; *10* — carcasă; *11* — clemă; *12* — piesă separatoare.

8.4. Ciocane de lipit cu ultrasunete şi instalaţii cu ultrasunete pentru lipirea, cositorirea şi degazarea metalelor

În toate instalaţiile pentru lipirea aluminiului cu ajutorul ultrasunetelor cunoscute pînă în prezent, cavitaţia din aliajul topit este produsă cu ajutorul unor vibratoare magneto-

strictive avînd frecvenţa de 20—25 kHz, pentru alimentarea cărora se utilizează generatoare electronice. Schema unei instalaţii pentru lipirea cu ajutorul ultrasunetelor este reprezentată în fig. 8.23. La unele tipuri de ciocane de lipit nu există un bobinaj pentru încălzire. Încălzirea locului lipiturii şi topirea aliajului se realizează în acest caz cu ajutorul unei surse termice separate (plită electrică, flacără de gaz etc.), iar rolul ciocanului de lipit se reduce numai la îndepărtarea peliculei de oxid. Mai jos se descriu cîteva modele industriale de ciocane de lipit şi instalaţii pentru lipirea şi cositorirea aluminiului.

a) Ciocane de lipit cu ultrasunete

Ciocanul de lipit УП-21 se compune dintr-un bloc de alimentare, ciocanul de lipit propriu-zis şi baia de cositorire.

Drept bloc de alimentare se utilizează orice fel de generator electronic de ultrasunete cu puterea de cel puţin 50 W şi frecvenţa de 18—25 kHz. Încălzirea ciocanului de lipit se realizează cu ajutorul unui bobinaj separat al transformatorului de reţea. Premagnetizarea se face folosind un redresor cu

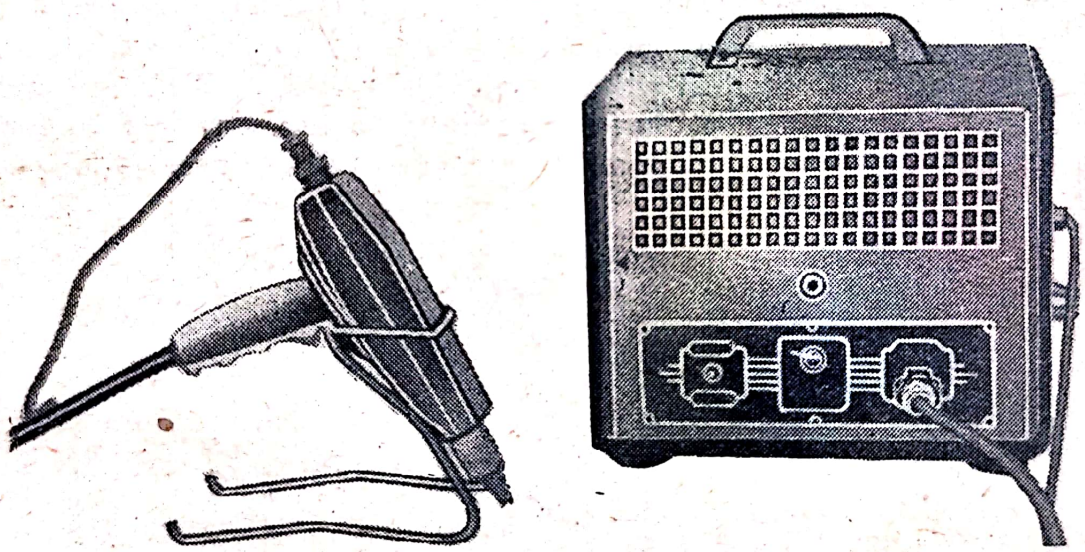


Fig. 8.24. Aspectul exterior al ciocanului de lipit cu ultrasunete УП-21.

seleniu. Circuitul de excitaţie, cel de premagnetizare şi cel de încălzire se conectează cu ciocanul de lipit cu ajutorul unui conector cu fişă. Vibratorul de tip $\lambda/2$ (confecţionat din permendur cu grosimea de 0,1 mm) este fixat de ciocanul de lipit cu ajutorul unei piese de alamă care reprezintă transformatorul acustic. Concomitent, din cauza conductibilităţii termice scăzute, această piesă protejează vibratorul împotriva supraîncălzirii. Ciocanul de lipit şi transformatorul acustic sînt lipite cu aliaj dur şi constituie un sistem în $\lambda/2$, acordat pe frecvenţa vibratorului şi legat rigid de acesta, tot prin lipire cu aliaj dur. Fixarea vibratorului se face în nodul deplasărilor, cu ajutorul unei cleme speciale cu garnituri din fluoroplast, şi cu ajutorul a două resorturi plane, lipite de transformatorul acustic în nodul deplasărilor. Ciocanul este prevăzut

cu un dispozitiv pentru reglarea automată a frecvenţei generatorului prin aplicarea unei reacţii pozitive oscilatorului pilot. Aceasta se realizează cu ajutorul unui condensator. O armătură a condensatorului este fixă, iar cealaltă este cuplată rigid cu capătul barei magnetostrictive. În cazul unor vibraţii plastice longitudinale, bara vibratorului şi armătura condensatorului fixată de bară — executînd mişcări de translaţie alternative, periodic şi în ritmul vibraţiilor produse de vibrator, variază întrefierul de aer şi, în felul acesta, capacitatea condensatorului. Condensatorului i se aplică o tensiune continuă care, în cazul variaţiei capacităţii condensatorului, se transformă într-o tensiune variabilă aplicată la intrarea generatorului. În practică, a doua armătură a condensatorului este constituită de fapt din suprafaţa frontală a pachetului de tole al vibratorului. Cîmpul magnetic creat de bobinajul de excitaţie, datorită efectului de magnetostricţiune, provoacă deformaţii elastice ale barei vibratorului. Tensiunea alternativă care apare în acest caz la bornele condensatorului se aplică, printr-un circuit de reacţie, la intrarea generatorului, asigurînd în felul acesta condiţiile necesare pentru stabilirea unui regim de amorsare permanentă a unor oscilaţii întreţinute.

Aspectul exterior al ciocanului de lipit УП-21 este reprezentat în fig. 8.24. Pentru comoditatea manevrării, ciocanul de lipit este realizat sub forma unui pistol. Cositorirea şi lipirea pieselor mărunte, cu ajutorul acestui ciocan, pot provoca dificultăţi în unele cazuri. Este mai comod ca cositorirea unor asemenea piese să fie făcută prin cufundarea într-o baie cu aliaj topit (fig. 8.25).

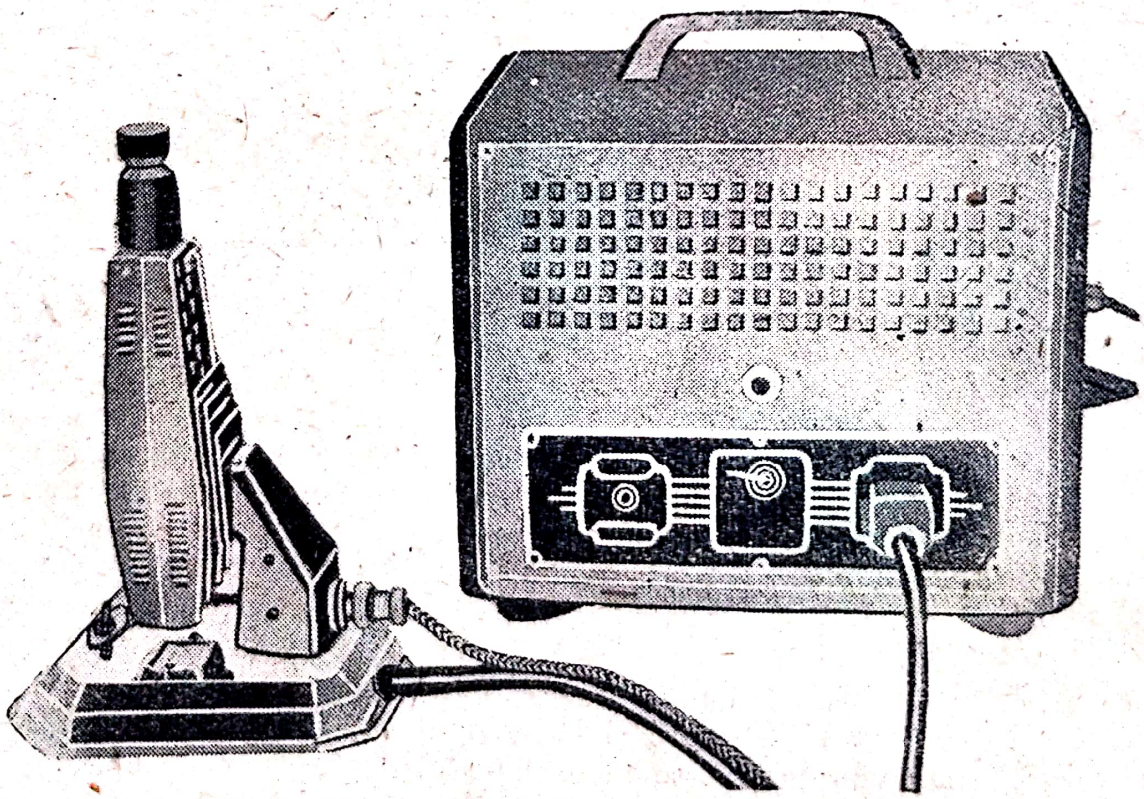


Fig. 8.25. Aspectul exterior al băii cu ultrasunete УП-21.

Scanned with OKEN Scanner

În ce priveşte principiul de funcţionare, baia nu se deosebeşte cu nimic de ciocanul de lipit descris mai sus, cu singura deosebire că, în locul ciocanului de lipit, pe vibrator este fixată o baie mică în care se topeşte aliajul. Sub acţiunea vibraţiilor ultrasonore, în aliajul topit apare cavitaţia care favorizează cositorirea pieselor de aluminiu cufundate în baie.

Datele principale ale ciocanului de lipit şi băii cu ultrasunete

Frecvenţa de lucru, kHz	18—22
Puterea, W	50
Puterea elementului de încălzire, W	100
Alimentarea de la reţea cu 110, 127 sau 220 V, Hz	50
Dimensiunile de gabarit, mm:	
ale blocului de alimentare	332×342×310
ale ciocanului de lipit	292×160×52
ale platformei	205×105×138
ale băii	288×200×162
Diametrul băii, mm	25
Adîncimea băii, mm	10
Greutatea, kg:	
a blocului de alimentare	14
a ciocanului de lipit	1
a platformei	0,25
a băii	1

Ciocanul de lipit cu ultrasunete УП-42 (fig. 8.26) este alimentat de un generator УГ-41. El serveşte la lipirea pieselor din aluminiu şi din aliaje ale acestuia, cu aliaje de lipit moi, fără a se folosi fluxul de lipit. Ciocanul de lipit se compune dintr-un vibrator magnetostrictiv, un bobinaj de excitaţie şi un element de încălzire.

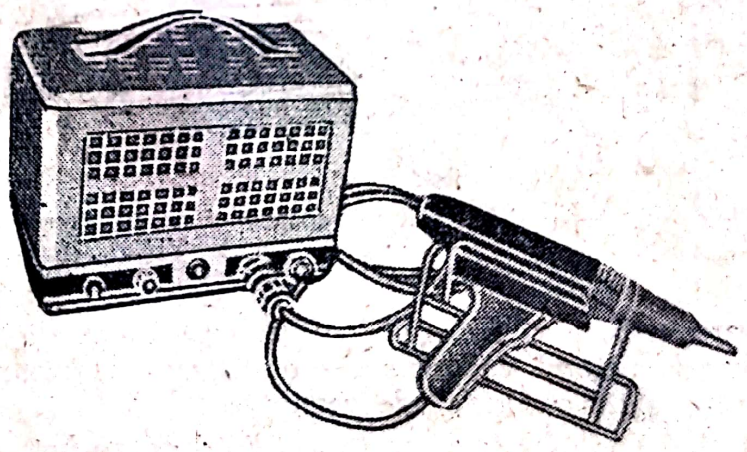


Fig. 8.26. Aspectul exterior al ciocanului de lipit cu ultrasunete УП-42.

Caracteristicile principale ale aparatului sînt:

Frecvenţa de lucru, kHz	23—26
Puterea, W	30
Puterea elementului de încălzire, W	70 şi 120
Curentul de premagnetizare	24 V, 0,8 A
Sursa de alimentare	Reţea de curent alternativ de 220 V, 50 Hz
Puterea absorbită, W	300

Scanned with OKEN Scanner

Dimensiunile de gabarit, mm:	
ale ciocanului de lipit	268×160×45
ale generatorului	260×230×198
Greutatea, în kg:	
a ciocanului de lipit	0,75
a generatorului	11

b) Baie de cositorire cu ultrasunete

Baia de cositorire cu ultrasunete УП-31 (fig.8.27) are un volum de 100×100×25 mm şi este alimentată de un generator УГ-32 cu puterea de 300 W. Baia se compune dintr-o ceaşcă metalică (care constituie „baia" propriu-zisă) şi un vibrator magnetostrictiv în $\lambda/2$, fixat rigid cu baia cu ajutorul unei bare metalice. Această bară serveşte la îndepărtarea băii fierbinţi de vibrator. Pentru mărirea randamentului instalaţiei, frecvenţa proprie a

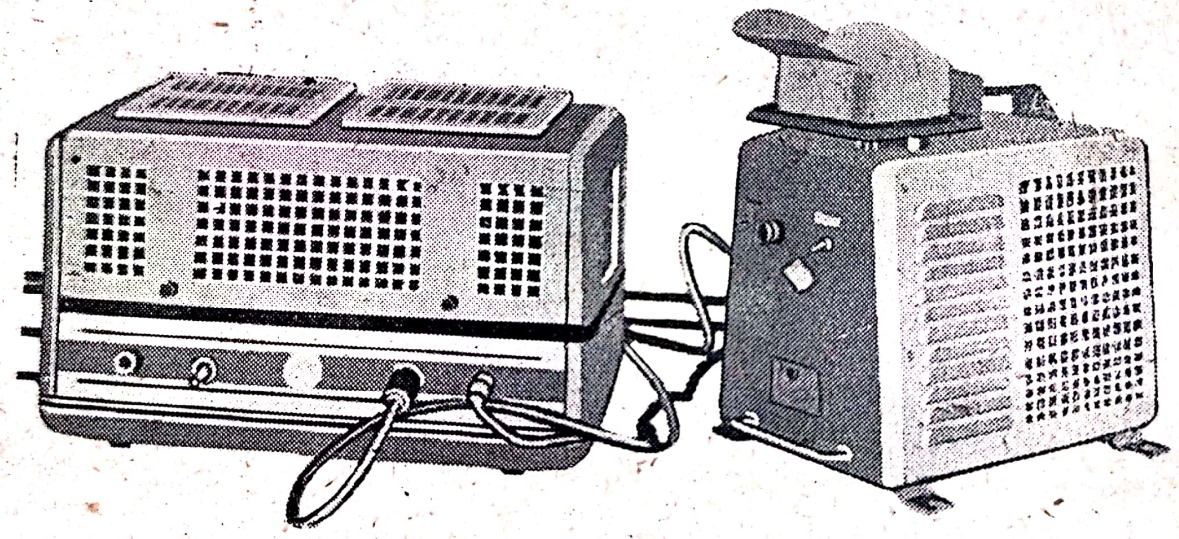


Fig. 8.27. Aspectul exterior al aparatului cu ultrasunete pentru cositorirea aluminiului, de tip УП-31.

barei trebuie să fie egală cu frecvenţa proprie a vibratorului. Piesele băii şi transformatorul coborîtor de tensiune sînt fixate pe o consolă şi amplasate într-o cutie cu orificii de ventilaţie.

Vibratorul este constituit dintr-un pachet de tole de permendur. Pe vibrator este aşezată bobina de excitaţie. Pentru crearea unui circuit magnetic închis, se folosesc două circuite magnetice confecţionate din oţel de transformator.

Elementul de încălzire este aşezat sub fundul băii.

Datele principale ale instalaţiei sînt:

Frecvenţa de lucru, kHz	18—20
Puterea, W	350
Premagnetizarea continuă	2V, 6A
Alimentarea de la o reţea de 220 V+10—15%, Hz	50

Puterea elementului de încălzire, W	300
Dimensiunile interioare ale băii, mm	100×100×25
Dimensiunile de gabarit ale băii, mm	360×205×296
Dimensiunile de gabarit ale blocului de alimentare, mm	450×305×280
Greutatea băii, kg	14
Greutatea blocului de alimentare, kg	28

Pentru lipirea cu ultrasunete a aluminiului se folosesc: cositorul pur, aliaje de cositor-zinc şi cositor-cadmiu şi altele. Unul dintre cele mai bune aliaje de lipit este acela care conţine 80 părţi cositor şi 20 părţi zinc.

c) Agregat pentru degazarea cu ultrasunete

În agregatul УЗД-100 (şarjă de 100 kg) se utilizează patru vibratoare magnetostrictive alimentate simultan de un generator УЗГ-10.

Principalele subansambluri ale agregatului (fig. 8.28) sînt capul şi acţionarea electrică.

Capul *1* al agregatului se compune din patru vibratoare magnetostrictive, montate rigid pe o consolă, căreia i se transmite deplasarea pe verticală cu ajutorul unei acţionări electrice.

Vibratoarele sînt închise într-un rezervor ermetic, în care sînt răcite neîntrerupt cu un curent de apă. Introducerea şi evacuarea apei, precum şi alimentarea cu energie electrică a capului se realizează prin ştuţuri ermetice la care se racordează nişte furtunuri flexibile. Lungimea furtunurilor permite ridicarea şi coborîrea necesară a capului.

Comanda prin butoane a aplicării energiei electrice la instalaţia УЗД-100 se face de la tabloul *3*, care este montat pe peretele din spate al carcasei *2* a agregatului. Postul cu butoane de tip КС-22 serveşte la conectarea acestui agregat industrial la un generator УЗГ-10.

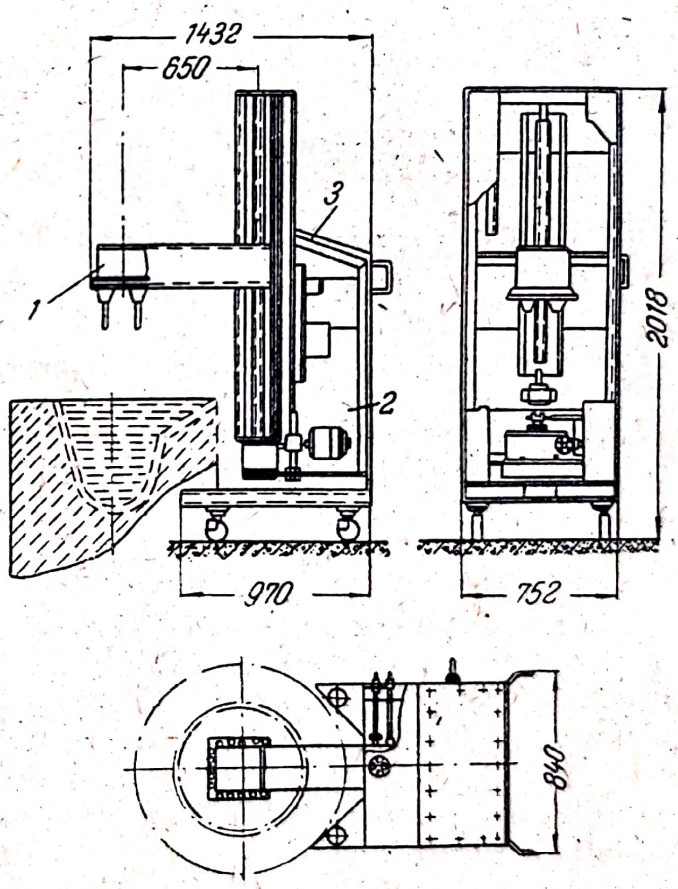


Fig. 8.28. Instalaţia de degazare cu ultrasunete УЗД-100:
1 — cap cu ultrasunete; *2* — carcasă; *3* — pupitru de comandă.

Pentru reglarea automată a frecvenţei instalaţiei de degazare cu ultrasunete, în timpul funcţionării, în construcţia agregatului УЗД-100 a fost prevăzută o reacţie acustică între vibratoare şi circuitul acordat al generatorului.

Scanned with OKEN Scanner

Această reglare automată este necesară datorită faptului că, în timpul funcţionării, ghidul de unde se încălzeşte, din cauza căldurii degajate de şarja topită şi a energiei ultrasonore, şi valorile constantelor lui elastice se micşorează.

Postul cu butoane de tip KC-23 serveşte la comanda deplasărilor pe verticală ale capului.

Acţionarea electrică se compune dintr-un motor electric cu puterea de 0,5 kW, o frînă cu saboţi TKT-100, un reductor cu şurub melc, un şurub de ridicare şi nişte ghidaje. Poziţiile verticale extreme ale capului sînt delimitate de către întrerupătoarele de cap de cursă BK-411. Capul agregatului apasă pe întrerupător, prin intermediul unei pîrghii, şi întrerupe astfel circuitul contactorului electromagnetic, iar acesta deconectează motorul electric. Capul poate fi oprit la orice înălţime.

Toate subansamblurile agregatului УЗД-100 sînt montate într-o carcasă comună şi instalate pe un cărucior.

Agregatul pentru degazarea cu ultrasunete poate deservi patru cuptoare de topire; de aceea, s-a prevăzut deplasarea generatorului УЗД-100 pe o rază de 10 m faţă de generator, ceea ce corespunde normelor tehnice referitoare la generatorul УЗГ-10.

8.5. APARATAJ TEHNOLOGIC CU ULTRASUNETE PENTRU FUNCŢIONAREA ÎN GAZE

a) Coagularea aerosolilor

Particulele de substanţă solidă sau lichidă, care se găsesc în gaze, sînt instabile şi suferă o aglomerare în decursul unui interval de timp oarecare, de obicei invers proporţional cu cantitatea de particule din unitatea de volum. În condiţii normale, forţele moleculare care provoacă mişcarea browniană, sînt insuficiente pentru a influenţa apreciabil asupra vitezei de depunere. Dacă în camera prin care trece aerosolul se creează însă periodic unde sonore staţionare, are loc o coagulare rapidă şi formarea unor depuneri compuse din aglomeraţii mari (în multe cazuri de cîteva mii de ori mai mari decît masa particulelor primare).

Coagularea are loc în nodurile sau ventrele undei sonore care se propagă. Mecanismul coagulării aerosolilor într-un cîmp acustic nu a fost încă definitiv elucidat.

Mişcarea particulelor de aerosoli într-un cîmp sonor reprezintă un fenomen destul de complex; el este guvernat de anumite legi. Astfel, gradul de coagulare sonoră a aerosolului depinde exponenţial de parametrii procesului

$$E = 100\ e^{-k},$$

în care k este o funcţie de parametrii procesului (concentraţia particulelor, intensitatea ultrasunetelor şi timpul de iradiere cu ultrasunete), a cărei valoare depinde şi de tipul de aerosol şi de aparatajul utilizat.

Scanned with OKEN Scanner

Particulele aflate în suspensie într-un mediu gazos iradiat cu ultrasunete urmăresc cu atît mai fidel vibrațiile mediului, cu cît frecvența f a vibrațiilor este mai scăzută, cu cît raza r și densitatea ρ_p a particulelor sînt mai mici și cu cît viscozitatea η este mai mare.

Raportul dintre amplitudinea x_p a vibrațiilor particulei și amplitudinea x_g a vibrațiilor mediului gazos este determinat de ecuația

$$\frac{x_p}{x_g} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{4\pi\rho_p r^2 f}{\rho\eta}\right)^2}}.$$

În încăperile industriale mari, coagularea aerosolilor depinde de trei factori principali:

a) intensitatea cîmpului sonor în care sînt prelucrate gazele cu suspensii de praf;

b) timpul de menținere a gazelor cu suspensii de praf, în cîmpul sonor;

c) frecvența sunetului.

Granița care marchează începutul unei coagulări perceptibile, care durează cîteva secunde, este un nivel al intensității sunetelor de aproximativ 140 dB (0,1 W/cm^2). În practica industrială însă, atingerea eficacității necesare pretinde 150 dB (1W/cm^2) și chiar mai mult. La intensități mari ale sunetelor, se poate obține, într-o perioadă de timp scurtă, același grad de coagulare ca și în cazul unor intensități mici și al unei perioade de timp îndelungate.

Utilizarea sunetelor este legată de geometria coloanei de coagulare, în care are loc prelucrarea gazelor în suspensii de praf, precum și de aceea a conductelor de gaze racordate la ea. În practică, construcția coloanei reprezintă în esență un compromis între condițiile acustice, aerodinamice, constructive și economice.

Întrucît procesul de coagulare este condiționat de ciocnirile dintre particulele de aerosoli, în cazul măririi duratei de contact a gazului cu suspensii de praf, cu cîmpul sonor, trebuie să se mărească și numărul de ciocniri. Există însă o limită superioară oarecare, deasupra căreia mărirea duratei de prelucrare nu mai cauzează o creștere substanțială a gradului de coagulare. Atunci cînd cîmpul sonor este suficient de intens și are frecvența necesară, durata de prelucrarea a gazelor cu suspensii de praf poate fi de ordinul cîtorva secunde.

Pentru coagularea acustică este optimă o anumită frecvență sonoră. Pentru particulele cu dimensiunea de 10 μ limita inferioară a frecvențelor este de circa 1 kHz. Frecvența optimă pentru fiecare caz se alege pe cale experimentală.

Pentru eficacitatea coagulării acustice a aerosolilor are importanță direcția curentului de aerosoli iradiat cu sunete, în raport cu direcția de propagare a vibrațiilor. Depunerea și coagularea au loc mai complet și mai eficace în cazul unui contracurent, decît în cazul unui curent de același sens. Aceasta se întîmplă în primul rînd datorită faptului că în cazul unui contracurent particulele mai mari se separă din curent în locurile unde intensitatea sune-

telor este mai mică, în timp ce particulele mai mărunte sînt iradiate în imediata apropiere a sursei de sunete şi în decursul unui interval de timp lung. În al doilea rînd, dacă în coloana de coagulare apar unde progresive, presiunea de radiaţie va favoriza depunerea particulelor mărite.

Posibilitatea dispersării ulterioare a conglomeratelor de aerosoli care s-au format în cursul procesului de coagulare acustică, impune anumite limitări asupra vitezei curentului de gaz din coloana de coagulare. Pe lîngă aceasta, poate avea loc o dispersare a aerosolilor şi în ciclon. Astfel, de pildă, dacă viteza gazului la intrarea în ciclon este egală cu 10 m/s, acesta captează particulele de praf, în timp ce, dacă viteza creşte pînă la 14 m/s, toate particulele de praf se lovesc de peretele ciclonului şi sînt antrenate din nou de curentul de aer sub forma unui praf fin. Captarea particulelor coagulate în ciclon poate avea loc numai în anumite condiţii, deoarece viteza gazului într-un ciclon necesară pentru ca acesta din urmă să funcţioneze în modul cel mai eficace şi viteza limită la care survine dispersarea particulelor de praf sînt foarte apropiate.

b) Instalaţii de coagulare cu ultrasunete

În instalaţiile cu ultrasunete pentru coagularea aerosolilor se utilizează vibratoare electromagnetice sau aerodinamice. Cele mai răspîndite sînt traductoarele aerodinamice de tip sirenă.

În fig. 8.29 este arătată schema unui aparat cu vibrator electromagnetic pentru depunerea vaporilor de hidroxid de amoniu. Vibratorul electromagnetic *1* este amplasat la partea de sus a camerei cilindrice *2*, iar celulele fotoelectrice *3* — cu surse de iluminare corespunzătoare *4* — servesc drept mijloc de control pentru determinarea concentraţiei hidroxidului de amoniu în diverse puncte ale sistemului. Pentru intrarea şi ieşirea vaporilor se folosesc ştuţurile 5 şi 6, iar reflectorul reglabil 7 serveşte la acordarea camerei la rezonanţă.

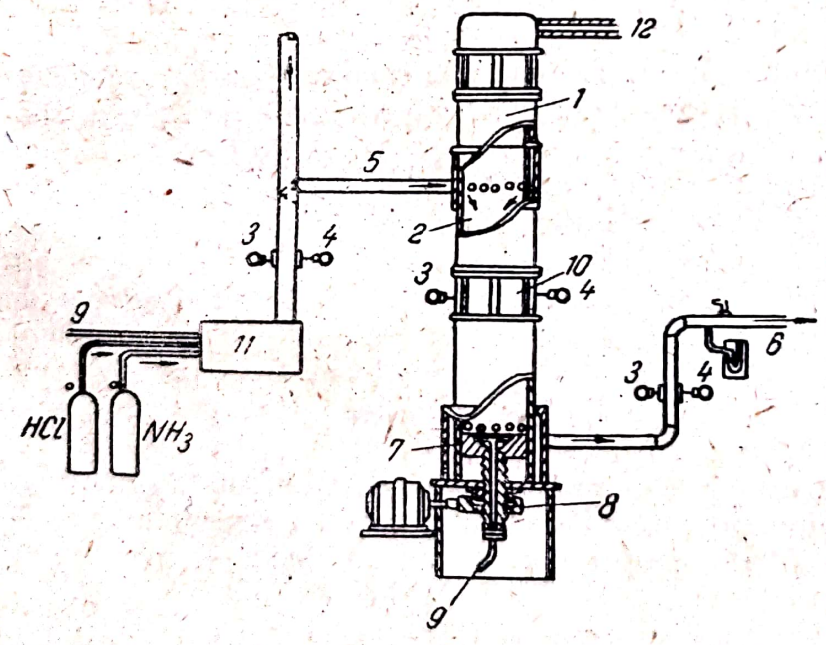


Fig. 8.29. Schema unei instalaţii cu vibrator electromagnetic pentru coagularea vaporilor de amoniac:

1 — vibrator electromagnetic; *2* — cameră de coagulare; *3* — celule fotoelectrice; *4* — izvoare de lumină; *5* — ştuţ de intrare; *6* — ştuţ de ieşire; *7* — reflector; *8* — dispozitiv pentru deplasarea reflectorului; *9* — intrarea aerului; *10* — compartimentul de sticlă al camerei; *11* — sirenă; *12* — cablu de legătură spre amplificator.

In instalaţiile în care se folosesc sirene, acestea sînt fie dinamice, fie statice. Ele sînt montate de obicei în instalaţiile de purificare existente.

Scanned with OKEN Scanner

În instalația arătată în fig. 8.30, camera de iradiere cu sunete este realizată sub forma unui tub cilindric vertical cu diametrul interior de 325 mm. La partea inferioară a camerei se găsește orificiul de admisie, reflectorul și un injector înșurubat în reflector. La partea superioară, care este lățită întrucîtva, numită cameră de refulare, se găsesc sirena emițătoare de sunete, orificiul de evacuare și dispozitivul de colectare. Lungimea totală a camerei cu iradiere cu ultrasunete este de 2 660 mm.

Particularitățile distincte ale acestei instalații sînt următoarele: absența diluării aerosolului de către aerul suflat de sirenă în camera de iradiere cu sunete și refularea în ciclon a aerosolului nediluat cu aer, în cantitate constantă pentru diferite regimuri de funcționare. Aerosolul traversează camera de iradiere cu sunete de jos în sus în decursul unui interval de timp oarecare (timpul de iradiere) și apoi, înainte de a se amesteca cu aerul, o parte din el este refulată în ciclon.

Cazul purificat din ciclon este în parte refulat de o pompă de vidare spre un filtru, cealaltă parte fiind eliminată de un ejector, în atmosferă.

Pentru coagularea satisfăcătoare a unui curent de gaz cu debit mai mare, pînă la 3 000 mm³/min, este necesară o energie sonoră cuprinsă între 10 și 50 kW.

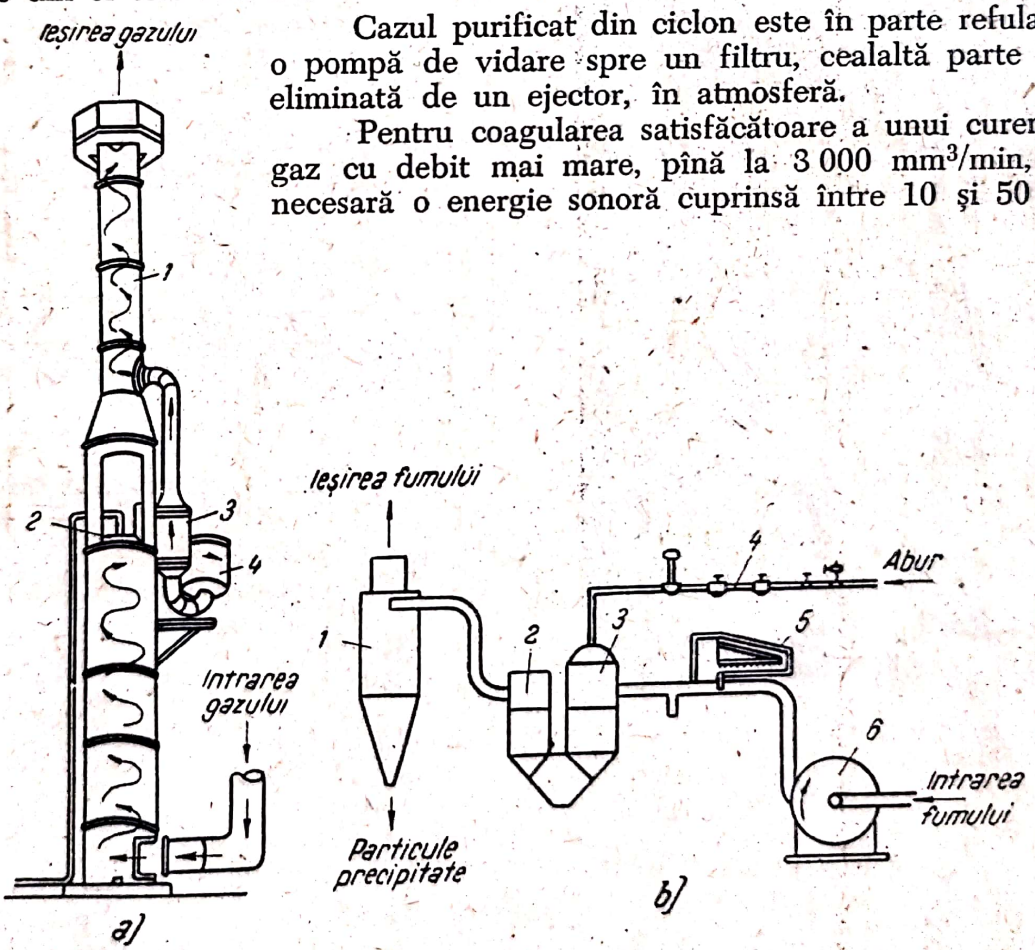


Fig. 8.30. Schema unei instalații cu ultrasunete pentru coagularea aerosolilor cu ajutorul unei sirene:

a — pentru captarea bioxidului de sulf: *1* — conductă pentru evacuarea gazului în atmosferă; *2* — sirenă cu ultrasunete; *3* — amortizor; *4* — separator cu ciclon; *b* — pentru captarea prafului: *1* — separator cu ciclon; *2* — cameră de aglomerare.

În fig. 8.31 este arătat aspectul general al uneia dintre instalaţiile de coagulare de fabricaţie sovietică.

Instalaţia de coagulare construită de Ghinţvetmet (fig. 8.32) se compune din coloana de coagulare *1*, sirena *2*, cicloanele *3* şi *4*, ventilatorul *5* şi sistemul de conducte de gaze *6*, *7* şi *8*. Coloana de coagulare este un tub metalic cu diametrul interior de 610 mm şi înălţimea de 9 100 mm. Racordul *6* prin care se introduce gazul ce urmează a fi iradiat cu sunete este amplasat la o distanţă de 7 800 mm de nivelul primei conducte colectoare 7. Ceva mai sus, la capătul diametral opus al tubului *1* se găseşte conducta de evacuare a gazelor *8*. Existenţa a două conducte de evacuare a gazelor este condiţionată

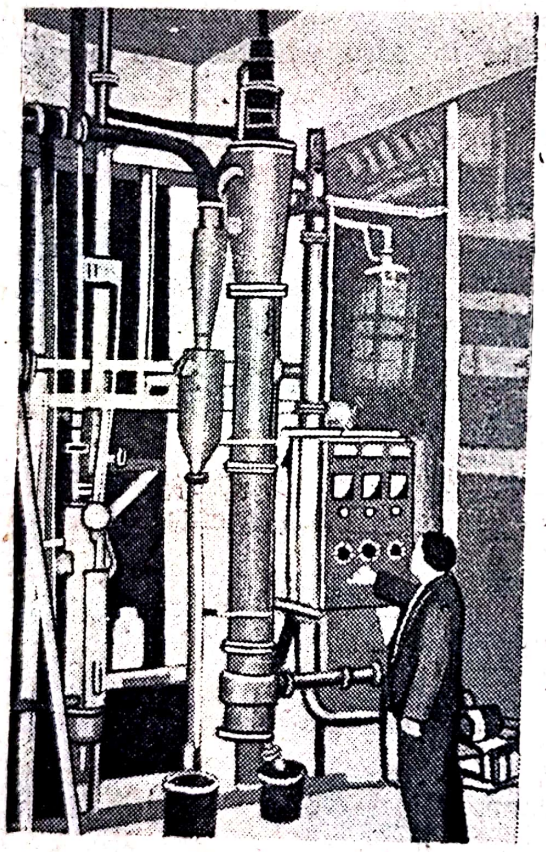


Fig. 8.31. Aspectul exterior al instalaţiei de coagulare.

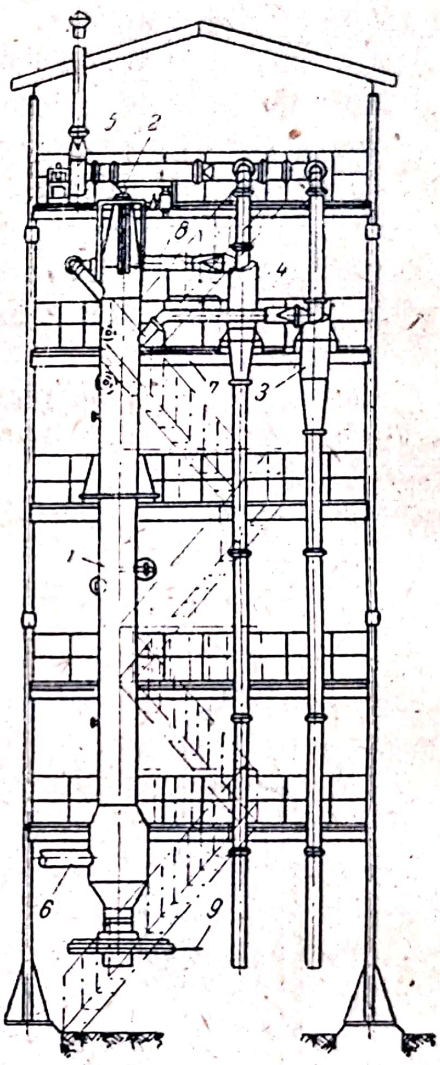


Fig. 8.32. Schema instalaţiei pentru coagularea aerosolilor realizată de Ghinţvetmet.

de necesitatea de a pune ciclonul *3* în condiţii de regim de funcţionare stabil, precum şi de necesitatea de a se evita diluarea masei principale de gaz iradiat cu sunete de către aerul care vine de la sirenă. Pentru alegerea dimensiunilor de gabarit ale coloanei de coagulare fabricate de Ghinţvetmet s-a pornit de la faptul că, în primul rînd, cantitatea de aer debitată sirenei şi necesară pentru crearea, în coloană, a unui cîmp sonor de intensitate necesară, va fi de 200 mm^3/h, iar cantitatea de gaz iradiat cu sunete atinge o valoare de 9 ori

mai mare, adică 1 800 mm³/h; în al doilea rînd, timpul de contact al gazului cu suspensii de praf, cu cîmpul sonor (egal cu 4 s), este suficient pentru o coagulare eficace. Pentru producerea unei concentrații uniforme, pe secțiunea coloanei, a prafului din gaz, intrarea gazului care urmează a fi purificat se face pe la partea de jos a coloanei, acolo unde există o parte lățită în mod special în acest scop. Partea activă a coloanei de coagulare are o lungime de 7 m, ceea ce asigură un interval de contact al gazului cu suspensii de praf, cu cîmpul sonor, la debitul menționat, de aproximativ 4 s.

În acest caz, viteza liniară este de 1,75 m/s. Trebuie să se țină seama de faptul că producerea unui cîmp sonor de intensitate corespunzătoare presupune atît existența unei surse de vibrații acustice suficient de puternice, cît și luarea unor măsuri speciale de asigurare a configurației adecvate a cîmpului sonor în locurile unde are loc coagularea. Cu această ocazie este de dorit ca pe lungimea coloanei să încapă un număr întreg de alternanțe. La construcția realizată de Ghințvetmet, aceasta se face prin utilizarea registrului de tiraj 9, deplasabil pe înălțimea coloanei, care servește, pe de-o parte, la scoaterea prafului care s-a depus în coloană și, pe de altă parte, care asigură ermetizarea coloanei.

Instalația de coagulare НИОГАЗ. În fig. 8.33 este reprezentată schema de principiu a unei instalații pentru coagularea amestecurilor de gaz și funingine. În această instalație, funinginea puternic dispersată, avînd suprafața specifică de circa 90 m²/g, a fost obținută în cuptorul *1* pentru colectarea negrului de fum avînd productivitatea de 45 mm³/h. Din cuptor, amestecul de negru de fum și gaz ajunge la un coagulator acustic compus din turnul refrigerent de aglomerare 2 și un generator de sunete. Turnul de aglomerare este un tub de oțel cu diametrul de 290 mm și lungimea activă de 1 900 mm. În turn, temperatura amestecului de funingine și gaz se micșorează de la 1 200 pînă la 65°C prin pulverizarea de apă rece.

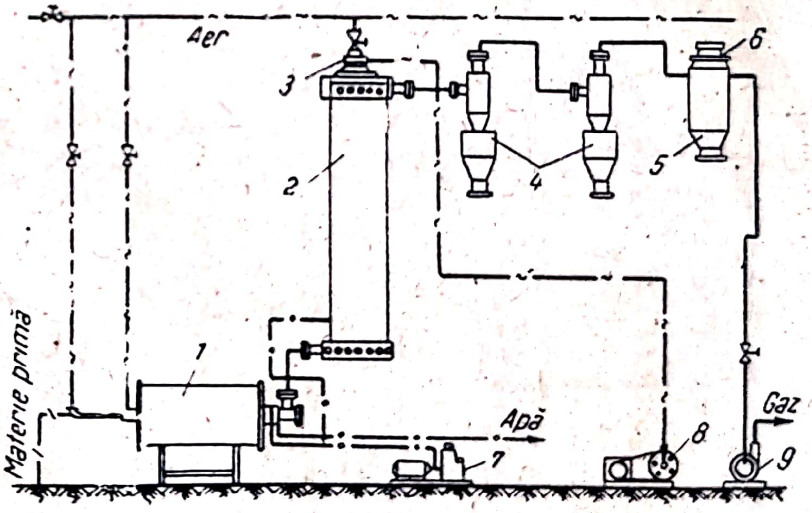


Fig. 8.33. Schema instalației pentru coagularea negrului de fum puternic dispersat:

1 — cuptor de depunere a negrului de fum; *2* — turn de aglomerare — refrigerent; *3* — sirenă statică; *4* — cicloane; *5* — filtru; *6* — vibrator; *7* — pompă; *8* — pompă de vid; *9* — pompă de fum.

Reducerea temperaturii din focar de la 1 300 pînă la 1 200°C a fost efectuată într-un dispozitiv de răcire montat direct pe cuptor. Din turnul de aglomerare, amestecul de funingine și gaz ajunge în două cicloane *4* legate în serie, de tip ЦН-15, apoi la filtrul 5 confecționat din țesături de sticlă și avînd o suprafață filtrantă de 1,28 m².

Instalaţia portabilă de coagulare realizată de Ghipronikel. În fig. 8.34 este arătat aspectul general al unei instalaţii portabile de coagulare, destinată coagulării locale a prafului la săparea în exploatările miniere. Elementul de bază al instalaţiei este sirena statică *1*, montată pe tija 2 fixată de trepiedul 3. Pentru funcţionarea sirenei, cu ajutorul ştuţului *4* ea este pusă în legătură cu o conductă de aer. Controlul presiunii aerului în sirenă se face cu manometrul 5. Instalaţia funcţionează pe frecvenţa de 10 kHz, cu un debit de aer de 5 m^3/min.

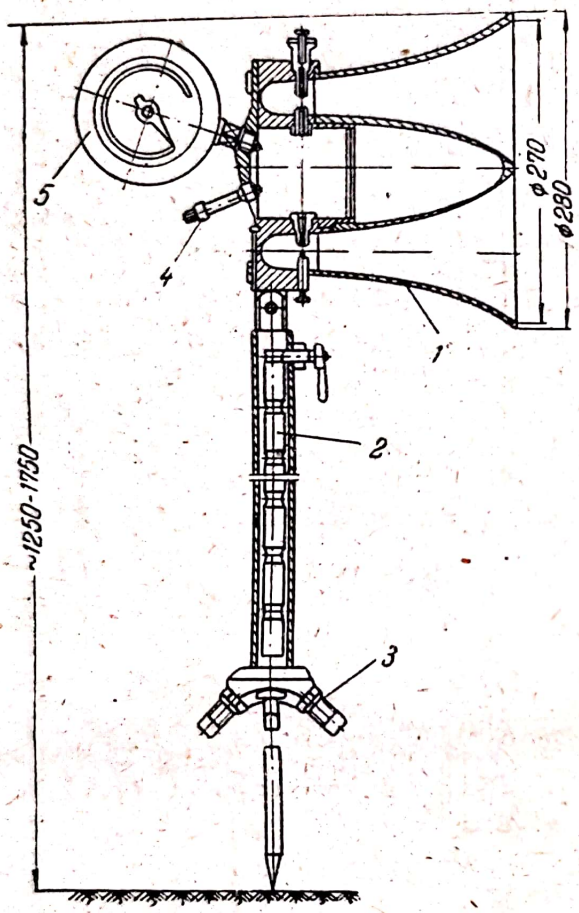


Fig. 8.34. Aspectul general al unei instalaţii de coagulare portative.

c) Instalaţii de uscare cu ultrasunete

După cum se ştie, procesul de uscare a materialelor constă în îndepărtarea umezelii dintr-un material, de obicei datorită încălzirii. În acest caz viteza de evaporare se determină prin legea lui Dalton.

$$V_{ev} = \frac{dm}{dt} = K S \frac{P - p}{H},$$

în care: P este presiunea vaporilor de lichid saturat la $t°C$;
p — presiunea vaporilor în atmosfera înconjurătoare;
H — presiunea gazului în atmosfera înconjurătoare;
S — suprafaţa materialului supus uscării;
K — un coeficient care depinde de gradul de turbulenţă a gazului deasupra suprafeţei de separaţie „lichid-gaz".

Uscarea materialelor solide, pulverulente şi a altor materiale este întîlnită în cele mai diverse procese tehnologice. Se cunosc diverse construcţii de maşini de uscat, destinate acestor scopuri. În majoritatea cazurilor, drept purtător de căldură se foloseşte aerul încălzit. Dar maşinile de uscat obişnuite nu pot fi totdeauna folosite cu succes în industrie. Aşa, de pildă, la uscarea multor produse chimice, a unor materii biologice, îngrăşăminte şi alte materiale, nu se poate efectua uscarea la temperaturi ridicate, deoarece materialele care urmează a fi uscate, sau se descompun, sau îşi pierd însuşirile bactericide. În ultimul timp au început să fie folosite instalaţii de uscare acustice, în care uscarea materialelor se face sub acţiunea unor vibraţii ultrasonore, produse de obicei cu ajutorul unor sirene acustice (de cele mai multe ori statice). Cea

mai rațională utilizare a uscării acustice se referă la cazurile cînd materialul supus uscării nu permite creșteri însemnate ale temperaturii. În ultimii 2—3 ani, în domeniul uscării acustice au început să se efectueze lucrări de cercetare mai amănunțite, atît în Uniunea Sovietică (Institutul de acustică al A.Ș. a U.R.S.S. НИИХИММАШ) cît și în străinătate. Mecanismul procesului de uscare acustică nu a fost încă studiat suficient de complet, de aceea se pot expune numai unele considerații preliminare. Astfel, cînd în mașina de uscat încep să acționeze vibrații acustice de intensitate mare, la suprafața materialului supus uscării se creează un vid înaintat, care „pulsează" cu o frecvență înaltă, (datorită rarefierilor și comprimărilor mediului, în timpul propagării undei ultrasonore). În plus, sub acțiunea vibrațiilor acustice, deasupra suprafeței materialelor supuse uscării se creează o turbulență intensă a gazului. După cum reiese din legea lui Dalton, dată mai sus, ambii factori influențează viteza de evaporare, accelerînd considerabil procesul de uscare.

În procesul de uscare un rol important îl joacă și acțiunea vibrațiilor acustice asupra limitei de separație „gaz-material supus uscării". Ca rezultat al distrugerii stratului limită, care — după cum se știe — constituie unul dintre principalii factori care frînează procesul de uscare, viteza de uscare se mărește, sub acțiunea ultrasunetelor. Toate acestea duc la faptul că, atunci cînd acționează vibrații acustice, procesul de uscare a materialelor se accelerează apreciabil și el poate avea loc la temperaturi scăzute (în comparație cu condițiile obișnuite).

Prima experiență de uscare acustică arată că nivelul intensității sunetelor obținute de la sirenă este un factor principal care determină viteza de uscare. În mod obișnuit se utilizează sunete cu intensitatea de 140—160 dB.

Straturile de material mai subțiri se usucă mai repede. De obicei trebuie să se utilizeze un strat cu grosimea de 3—6 cm. În cazul producerii unui cîmp acustic suplimentar, dirijat perpendicular pe cîmpul principal, eficacitatea uscării se mărește. Procesul de uscare acustică se desfășoară mult mai repede dacă particulele materialului supus uscării se găsesc în stare de mișcare sau în stare de suspensie. În acest caz se mărește suprafața de material supusă acțiunii vibrațiilor acustice. Pornind de la aceasta, în mașinile de uscat acustice este recomandabil să se utilizeze sisteme cu tambure rotative, cu transportor oscilant sau cu strat „fierbător".

Instalația de uscare cu ultrasunete cu transportor oscilant (fig. 8.35) este constituită din cilindrul *1* așezat orizontal, ale cărui părți frontale sînt astupate de flanșele 2. În interiorul cilindrului, pe resorturile 3, este suspendat transportorul *4* cu materialul 5. Unghiul de înclinare a transportorului față de orizontală poate fi reglat între limitele 2—5%. Cu ajutorul electromagnetului *6*, transportorul execută vibrații în plan orizontal. La partea frontală a instalației de uscare este montată, sub un unghi de 20°, sirena statică 7, care produce în instalația de uscare un cîmp sonor de intensitate mare, care ajunge pînă la 160 dB. Sirena este închisă cu cilindrul 8, al cărui fund este constituit din membrana demontabilă 9 cu grosimea de 0,05 mm. Prin intermediul membranei, vibrațiile acustice se transmit în interiorul mașinii de uscat. Aerul,

Scanned with OKEN Scanner

introdus în sirenă de la un compresor cu presiunea de 4 ata, este evacuat din cilindru sau direct prin sirenă prin ştuţul *10*, fără ca să pătrundă în maşina de uscat şi fără ca să perturbeze regimul ei de funcţionare. Uscarea materialelor se face datorită aerului introdus prin ştuţul *11*. Cantitatea de aer care intră în maşina de uscat, precum şi temperatura acestuia, depind de greutatea materialului care urmează a fi uscat, de gradul lui de umiditate şi de alţi factori. Sirena şi transportorul sînt amplasate într-o astfel de poziţie în interiorul maşinii de uscat, încît să asigure acoperirea maximă cu cîmp acustic a suprafeţei materialului supus uscării. Aerul umed rezultant este eliminat din maşina de uscat prin ştuţul *12*.

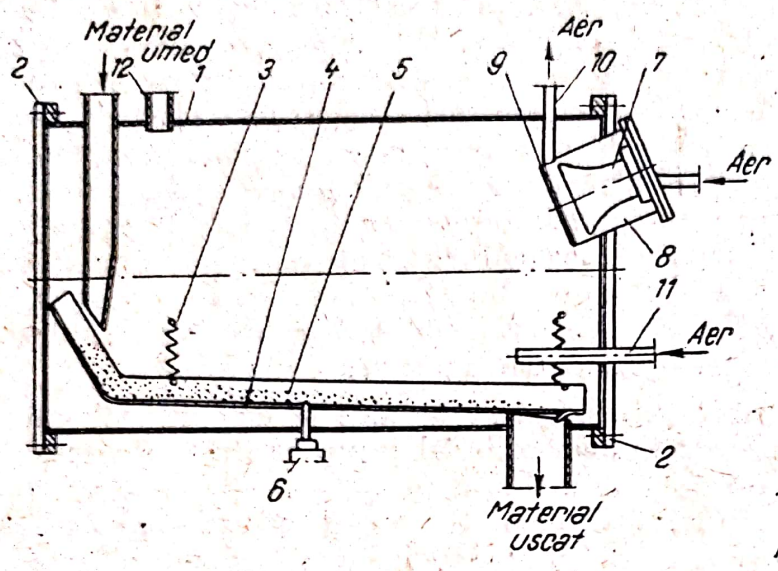


Fig. 8.35. Instalaţie de uscare cu ultrasunete, cu transportor vibratoriu.

Maşina de uscat cu ultrasunete cu strat „fierbător" (fig. 8.36) este constituită din cilindrul *1*, aşezat vertical. La partea inferioară şi cea mijlocie ale cilindrului se găsesc sirenele *6* şi *7*. Materialul pentru uscare este încărcat în maşină prin alimentatorul *3* şi ajunge la grătarul *2*. Aerul pentru uscare este introdus prin intermediul sirenei statice *6* şi trece prin grătarul *5*, care asigură uniformitatea curentului de aer. În timpul trecerii aerului prin materialul supus prelucrării, acesta din urmă începe să se amestece intens, iar o parte din el ajunge într-o stare de suspensie echilibrată.

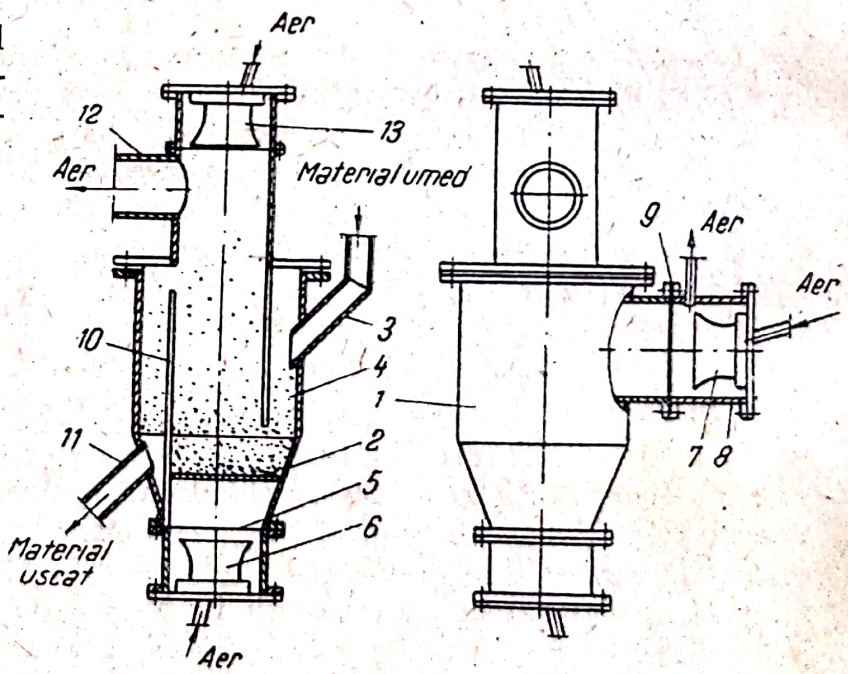


Fig. 8.36. Maşina de uscat cu ultrasunete, cu strat „fierbător":
1 — cilindru; *2* — grătar; *3* — alimentator; *4* — coloană de uscare cu trei secţii; *5* — grătar; *6* — sirena statică; *7* — sirenă; *8* — cilindru.

Materialul în stare de suspensie este supus acţiunii vibraţiilor acus-

tice de mare intensitate produse de două sirene amplasate perpendicular. Sirena laterală *7* este închisă în cilindrul *8* al cărui fund este constituit din membrana demontabilă *9*. Pe măsură ce se usucă, particulele de material devin mai uşoare şi sînt ridicate de curentul de aer. Cînd gradul lor de uscare se apropie de valoare prescrisă, ele ajung la partea superioară a peretelui despărţitor *10* şi pătrund în buncărul de descărcare *11*. Eliminarea aerului umed din maşina de uscat se face prin ştuţul *12*, amplasat la partea superioară a maşinii de uscat. Un dezavantaj al maşinilor de uscat obişnuite cu strat „fierbător" este antrenarea — de către aerul evacuat — a unei cantităţi apreciabile de material supus uscării. Pentru a se elimina acestea pierderi, în maşina de uscat acustică descrisă, s-a prevăzut instalarea — la partea ei superioară — a unei sirene acustice cu membrană. Ca rezultat are loc coagularea şi depunerea în buncărul de descărcare, a particulelor de material supus uscării, care au fost antrenate de curentul de aer.

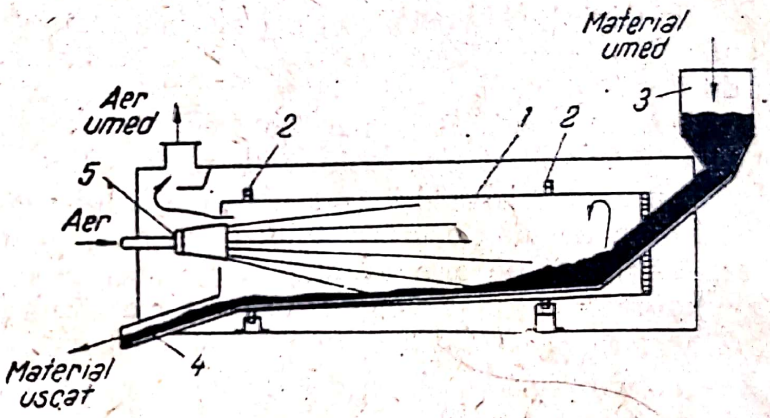


Fig. 8.37. Instalaţie rotativă de uscare cu ultrasunete, tip УСБ:
1 — tambur de uscare rotativ; *2* — coroane dinţate; *3* — buncăr de intrare; *4* — buncăr de descărcare; *5* — sirenă cu ultrasunete.

Instalaţia rotativă de uscare cu ultrasunete УС-Б (fig. 8.37) este un tambur de uscare *I*, care este rotit în jurul axei sale cu ajutorul coroanelor dinţate 2. Prin buncărul de intrare 3 materialul este introdus în tambur şi datorită rotirii şi înclinării acestuia se deplasează spre buncărul de descărcare *4*. La partea frontală a tamburului este montată sirena cu ultrasunete 5. Aerul de la compresor este încălzit şi debitat sirenei. Fluxul de vibraţii ultrasonore, provenit de la sirenă, este dirijat sub un anumit unghi faţă de materialul care se deplasează, în sens opus deplasării acestuia.

PARTEA A PATRA

Aparate cu ultrasunete pentru supraveghere, control şi măsurare

Aparatele cu ultrasunete destinate supravegherii, controlului şi măsurărilor se bazează pe utilizarea vibraţiilor elastice de intensitate mică, într-o gamă largă de frecvenţe.

Principiul de funcţionare a majorităţii aparatelor de control şi măsurare cu ultrasunete se bazează pe măsurarea vitezei sau absorbţiei ultrasunetelor în diferite materiale.

Pentru înregistrarea parametrilor vibraţiilor elastice şi a variaţiilor lor se foloseşte aparataj electronic modern cu funcţionare extrem de rapidă şi cu o mare putere de rezoluţie. Acest fapt asigură metodelor de control cu ultrasunete lipsa de inerţie, o sensibilitate mare, o precizie de citire suficientă şi o serie întreagă de alte avantaje care deosebesc avantajos metodele bazate pe ultrasunete de alte metode, utilizate mai înainte.

Măsurarea absorbţiei ultrasunetelor se face prin metode care implică folosirea impulsurilor. Aceste măsurări sînt mai complicate şi sînt efectuate cu o precizie mai mică.

În majoritatea cazurilor măsurarea vitezei sau a absorbţiei sunetelor, în scopuri de control, nu se face în funcţie de valoarea absolută, ci în funcţie de variaţiile acesteia.

Din această cauză, procedeele de măsurare acustice implică utilizarea pe scară largă a unor metode diferenţiale şi de comparare a mărimii supuse măsurării cu un etalon, fapt care permite să se obţină o mare precizie şi să se elimine o serie întreagă de erori inevitabile în cazul metodei directe de evaluare a mărimii supuse măsurării (erori cauzate de aparat, erori de temperatură etc.).

Metodele acustice de măsurare se caracterizează prin posibilitatea folosirii unei game foarte largi de frecvenţe şi puteri ale vibraţiilor ultrasonore. Domeniul de frecvenţe cuprins de metodele acustice se întinde de la vibraţiile infrasonore pînă la cele hipersonore, adică este cuprins între limitele 10^{-1} şi 10^9 Hz şi chiar mai mult.

În funcţie de obiectul măsurării, metodele acustice pot fi împărţite în următoarele grupe principale[1]):

1. Măsurarea dimensiunilor geometrice ale corpurilor şi volumurilor (grosimetre[2]), altimetre, nivelmetre, cavernometre etc.).

---

[1]) Propuse de *L. D. Rozenberg*.

[2]) În cele ce urmează vom numi „grosimetre", aparatele pentru măsurarea grosimilor cu ajutorul ultrasunetelor.

Scanned with OKEN Scanner

2) Măsurarea parametrilor unui mediu (aparate de măsurat densitatea, viscozitatea, temperatura etc.).

3) Supravegherea şi controlul stării unui mediu (controlul desfăşurării reacţiilor chimice şi al proceselor fizico-mecanice, al proceselor de polimerizare, cristalizare, al variaţiei, stării de agregare etc.; debitmetre pentru gaze şi lichide, analizoare de gaze şi alte aparate care măsoară variaţia proprietăţilor acustice ale mediului).

4) Determinarea defectelor interne şi neomogenităţilor structurii materialelor [defectoscoape cu ultrasunete (de toate tipurile) şi sonde acustice (ecoloturi)].

Măsurările acustice pot fi efectuate folosind impulsuri şi vibraţii ultrasonore neamortizate.

Metodele de măsurare bazate pe impulsuri se împart în două grupe principale: a) măsurarea timpului de trecere a impulsurilor; b) măsurarea atenuării vibraţiilor proprii, excitate într-un mediu oarecare.

Măsurarea timpului de trecere a unui impuls sau de variaţie a amplitudinii lui oferă posibilitatea de a se determina lungimea drumului parcurs de impuls (în cazul cînd se cunoaşte viteza de trecere a impulsului), sau de a se măsura viteza de propagare a impulsului (dacă se cunoaşte distanţa). Conform acestui principiu de măsurare sînt construite sondele cu ecou, nivelmetrele şi alte aparate.

Măsurarea amortizării vibraţiilor proprii ale impulsului acustic într-un sistem oarecare, permite să se studieze produsul de amortizare şi să se măsoare pierderile în materialul studiat. Conform acestui principiu de măsurare sînt construite mai multe viscozimetre, adică aparate pentru determinarea frecării interne, provocate de viscozitate, în metale, mase plastice, cauciucuri etc.

Măsurările efectuate cu ajutorul unor vibraţii întreţinute pot fi împărţite în două grupe: cele care se bazează pe unde progresive şi cele care se bazează pe unde staţionare. Folosind o undă progresivă, se pot determina proprietăţile mediului prin care se propagă această undă. Utilizarea undelor staţionare este o metodă mai des întîlnită. Deoarece unda staţionară apare datorită reflectării undei progresive la limita de separaţie a două medii sau la suprafaţa unui obstacol, studiul parametrilor acestei unde staţionare permite stabilirea proprietăţilor mediului aflat de cealaltă parte a limitei de separaţie, sau proprietăţile obstacolului; de asemenea se poate determina distanţa la care se găseşte graniţa de separaţie a mediilor sau obstacolul.

În marea majoritate a cazurilor, cîmpul sonor primar trebuie produs din exterior cu ajutorul unor surse oarecare de energie acustică. În acest sens, aproape toate metodele de măsurare acustice sînt metode active, adică necesită o sursă specială de sunete (un vibrator). În ultimul timp, însă, încep să fie folosite şi metode acustice de măsurare pasive. Atît în cazul metodelor active, cît şi al celor pasive, măsurarea cîmpului sonor se face cu ajutorul unor traductoare-receptoare de sunet. În unele aparate, funcţia de receptor

Scanned with OKEN Scanner

şi cea de emiţător sînt contopite într-un singur traductor; în felul acesta sînt construite aproape toate aparatele tip ecolot.

Îşi găsesc aplicaţii şi aparatele în care traductorul-receptor lipseşte. În acest caz se utilizează variaţia reacţiei mediului, asupra vibratorului. Măsurarea se face la generatorul care excită vibratorul. De exemplu, în grosimetrele bazate pe metoda rezonanţei, se înregistrează variaţia bruscă a valorii unui curent sau a tensiunii absorbite de vibrator în momentul cînd apare fenomenul de rezonanţă mecanică, adică atunci cînd într-un mediu de dimensiuni finite, care vine în atingere cu vibratorul, încap un număr întreg de alternanţe. Fenomenul de rezonanţă se caracterizează prin scăderea bruscă a cantităţii de energie absorbite de la vibrator, lucru pe care îl înregistrează nişte aparate indicatoare din montajul generatorului.

Frecvenţa de lucru la aparatele de măsurat acustice se alege în funcţie de metoda de măsurare adoptată. De pildă, în cazul metodelor de măsurare bazate pe rezonanţă (grosimetre şi defectoscoape cu rezonanţă), gama de frecvenţe de lucru trebuie aleasă în funcţie de frecvenţele de rezonanţă ale sistemului supus măsurării, pentru gama de grosimi impusă. În metodele de măsurare bazate pe impulsuri, alegerea frecvenţei, pe de-o parte, este condiţionată de creşterea puterii de rezoluţie şi a sensibilităţii determinate de creşterea frecvenţei, iar pe de altă parte, este limitată superior de scăderea amplitudinii semnalului recepţionat, care are loc din cauza creşterii absorbţiei de energie sonoră. La măsurarea absorbţiei sunetelor, se alege o frecvenţă de lucru maximă, cu scopul ca absorbţia să fie suficient de intensă pentru a putea fi înregistrată. Alegerea vibratoarelor şi a traductoarelor-receptoare de sunet este condiţionată de gama de lucru. Sînt utilizate exclusiv sistemele electromecanice: electrodinamice, magnetostrictive şi piezoelectrice. Vibratoarele hidrodinamice şi aerodinamice nu şi-au găsit pînă acum aplicaţii în tehnica măsurărilor acustice. O importanţă hotărîtoare o are şi faptul că traductoarele electromecanice sînt reversibile, adică unele şi aceleaşi elemente pot fi folosite atît ca traductoare-emiţătoare, cît şi ca traductoare-receptoare de sunete. După cum s-a menţionat mai sus, această proprietate a traductoarelor electromecanice este folosită într-o serie întreagă de metode bazate pe ecou (defectoscoape şi debitmetre). Pentru funcţionarea în gama de frecvenţe cuprinsă între 0 şi 15 kHz este mai comod să se utilizeze traductoare electromecanice; pentru frecvenţele de la 15 pînă la 150 kHz — magnetostrictive, iar în gama de la 100 pînă la 10 000 kHz—piezoelectrice.

Frecvenţele mai înalte nu au încă aplicaţii; singurele traductoare posibile sînt cele piezoelectrice. În practica metodelor de măsurare acustice, drept traductoare electromecanice se utilizează cu succes capsule telefonice electromagnetice de tip ДЗМ şi variante ale acestora, care au o caracteristică de frecvenţă şi o sensibilitate suficient de bune.

În ultimul timp, în numeroase aparate, se utilizează şi traductoare tip condensator (peliculare), care posedă — în comparaţie cu cele electromecanice — o caracteristică de frecvenţă mai largă şi mai uniformă (pînă la 30—50 kHz) şi o sensibilitate suficient de mare.

Scanned with OKEN Scanner

În tehnica măsurărilor utilizarea traductoarelor magnetostrictive este urmată de o serie întreagă de dificultăţi provocate de necesitatea ecranării îngrijite a traductoarelor împotriva cîmpurilor magnetice de frecvenţa vibratorului induse în bobinaje. Forţa electromotoare de inducţie electromagnetică depăşeşte apreciabil forţa electromotoare de magnetostricţiune din traductorul-receptor; de aceea, ecranarea îngrijită a traductorului receptor şi a vibratorului constituie o condiţie obligatorie de utilizare a lor în tehnica măsurărilor.

Traductoarele magnetostrictive destinate măsurărilor nu sînt fabricate de industrie sub formă de elemente independente, ci sînt confecţionate individual pentru un anumit tip de aparate.

Ca traductoare piezoelectrice se utilizează în majoritatea cazurilor cuarţul, deoarece este un material care se distinge printr-o mare stabilitate electrică şi un coeficient de temperatură mic.

Ceramica de titanat de bariu, răspîndită în aplicaţiile tehnologice ale ultrasunetelor, pînă în ultimul timp a fost folosită relativ rar în aparatele de control şi măsurare, deşi valoarea modulului piezoelectric al acestui material este apreciabilă. Principalul dezavantaj al ceramicei de titanat de bariu este, după cum se ştie, variaţia apreciabilă a modulului piezoelectric şi a constantei dielectrice în funcţie de temperatură. De aceea, ea este utilizată numai în acele cazuri cînd temperatura de lucru nu depăşeşte 80°C şi cînd valoarea absolută a semnalului emis şi a celui recepţionat nu are o importanţă esenţială. Un exemplu de asemenea aplicaţie sînt sondele defectoscoapelor cu ultrasunete sau ale grosimetrelor cu rezonanţă. Există posibilitatea de a se îmbunătăţi artificial caracteristicile de temperatură ale ceramicei piezoelectrice prin introducerea, în schema aparatului, a unei prepolarizări continue a elementelor piezoelectrice cu ajutorul unei tensiuni continue înalte. Prin această metodă se reuşeşte să se extindă întrucîtva gama de temperaturi a ceramicei piezoelectrice, obţinîndu-se caracteristici stabile. Traductoarele piezoelectrice posedă caracteristici de rezonanţă şi permit funcţionarea pe armonice superioare şi inferioare ale frecvenţei fundamentale.

O particularitate importantă a traductoarelor piezoelectrice constă în posibilitatea realizării cu uşurinţă a focalizării sunetelor radiate prin confecţionarea unor elemente piezoelectrice de formă corespunzătoare sau prin utilizarea unor lentile acustice focalizatoare confecţionate din diverse materiale. Posibilitatea focalizării cîmpului acustic permite ca în numeroase cazuri să se mărească simţitor sensibilitatea şi puterea de rezoluţie ale aparatelor de măsurat, precum şi să se creeze aparate principial noi, care îndeplinesc funcţii inaccesibile altor metode fizice. Drept exemplu de construire a unor asemenea aparate pot fi considerate microscoapele cu ultrasunete cu vizualizarea obiectului studiat, în materiale opace. În funcţie de aplicaţiile lor tehnologice, aparatele de măsurat cu ultrasunete pot fi împărţite în trei grupe: pentru funcţionarea cu materiale solide, pentru funcţionarea cu lichide şi pentru funcţionarea cu gaze.

Scanned with OKEN Scanner

CAPITOLUL 9

APARATE CU ULTRASUNETE PENTRU SUPRAVEGHERE, CONTROL ŞI MĂSURĂRI ÎN MATERIALE SOLIDE

Aparatele cu ultrasunete pentru supraveghere, control şi măsurări în materiale solide pot fi împărţite în două categorii: defectoscoape cu ultrasunete şi aparate cu ultrasunete pentru determinarea constantelor fizico-mecanice.

9.1. DEFECTOSCOAPE CU ULTRASUNETE

Defectoscoapele cu ultrasunete[1]) sînt introduse pe scară largă şi cu mult succes în diverse ramuri ale tehnicii, pentru descoperirea defectelor interne ale unor materiale solide (oţel, metale colorate, mase plastice, cauciuc, beton etc.), precum şi pentru măsurarea grosimilor lor. Frecvenţa vibraţiilor elastice folosite în defectoscoapele cu ultrasunete este cuprinsă de obicei între limitele 10^4—10^7 Hz, deşi în ultimul timp se observă tendinţa de a mări gama de frecvenţe atît sub limita inferioară cît şi peste cea superioară. Sensibilitatea unei metode de defectoscopie cu ultrasunete este condiţionată de compoziţia materialului studiat, de omogenitatea lui, de mărimea şi amplasarea defectelor în el, de frecvenţa şi puterea ultrasunetelor. În fiecare caz concret, sensibilitatea metodei de defectoscopie cu ultrasunete va fi diferită şi nu poate fi caracterizată prin nici un fel de date generale.

În produsele de oţel, de exemplu, undele ultrasonore pătrund pînă la o adîncime de 10 m cu o viteză de 4 000—6 000 m/s. Metoda ultrasunetelor permite să se controleze nu numai macrodefectele, dar şi microdefectele, inclusiv neomogenităţile structurii materialului. Prin metoda ultrasunetelor se controlează bine fisurile, incluziunile, unele îmbinări sudate, neomogenităţile, stratificaţiile etc.

Analiza sensibilităţii şi puterii de rezoluţie a diverselor procedee de defectoscopie cu ultrasunete se va face mai jos la descrierea unor tipuri de defectoscoape cu ultrasunete.

Defectoscopul cu ultrasunete este o instalaţie radiotehnică complicată, alcătuită dintr-un generator de oscilaţii electrice, traductoare piezoelectrice (sonde), un amplificator de oscilaţii electrice şi un indicator (aparat cu ac indicator sau oscilograf).

Sensibilitatea obţinută în cazul defectoscopiei cu ultrasunete şi funcţionarea normală a defectoscoapelor de orice tip depinde în mare măsură de calitatea, de siguranţa contactului dintre vibrator sau traductorul-receptor şi suprafaţa piesei studiate. Atît piesele cît şi plăcuţele piezoelectrice ale vibratoarelor sau ale traductoarelor-receptoare de vibraţii ultrasonore nu au suprafeţe ideal netede şi uniforme. De aceea, cînd se aşază sonda piezoelectrică pe

[1]) Realizate de *A. Matveev, D. Şraiber ş. a.*

Scanned with OKEN Scanner

materialul studiat, contactul nu are loc pe întreaga suprafaţă a plăcuţei piezoelectrice. Contactul se va stabili numai în puncte izolate, între care se vor găsi spaţii de aer care reflectă undele ultrasonore. Va avea loc o dispersie şi o absorbţie apreciabilă a energiei ultrasunetelor în rugozităţile suprafeţei. Pentru îmbunătăţirea contactului acustic dintre suprafaţa produsului şi plăcuţa piezoelectrică se utilizează medii de trecere (paste sau lichide). Drept medii de trecere se utilizează ulei de maşină, de transformator sau de ricin, cu care se umezeşte în prealabil suprafaţa produsului studiat. În plus, pentru funcţionarea normală a plăcuţei piezoelectrice, ea trebuie fixată în aşa fel în montura-sondă, încît să se asigure un contact electric bun cu armăturile şi în acelaşi timp să nu se frîneze vibraţiile mecanice ale plăcuţei. Pentru îndeplinirea acestor condiţii se utilizează diferite tipuri de sonde: sonde deschise şi închise, sonde cu pernă hidraulică (moi) şi sonde prizmatice cu diferite unghiuri de înclinare. În fig. 9.1 *a*, este arătată construcţia unei sonde deschise rigide, de formă dreaptă. În această sondă, plăcuţa piezoelectrică vine direct în atingere cu suprafaţa piesei studiate, prin intermediul unui strat subţire de ulei. Corpul sondei vine de asemenea în contact cu suprafaţa piesei şi constituie un al doilea electrod. Avantajul acestui tip de sondă descrisă constă în faptul că, în afară de stratul subţire de ulei dintre plăcuţa piezoelectrică şi piesă, nu mai există nici un fel de alte medii de trecere şi energia ultrasonoră trece din sondă în piesă sau invers, cu pierderi minime.

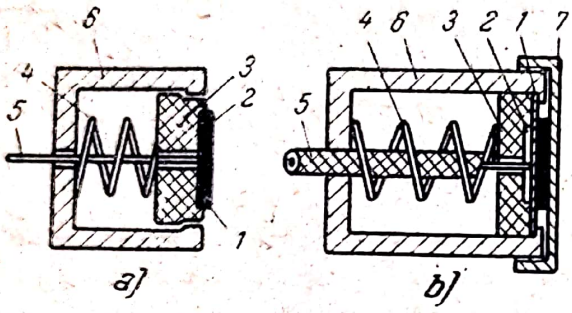


Fig. 9.1. Construcţia sondelor rigide directe (monturi):

a — montură cu plăcuţă piezoelectrică deschisă; *b* — montură cu plăcuţă piezoelectrică închisă; *1* — plăcuţă piezoelectrică; *2* — electrod; *3* — inel de stringere din material izolant; *4* — resort; *5* — conductor (izolat) de legătură cu defectoscopul; *6* — carcasa monturii; *7* — capac de stringere exterior.

Dezavantajul acestei sonde constă în uzura rapidă a stratului acoperitor al plăcuţei piezoelectrice din cauza frecării de suprafaţa pieselor, precum şi de aplicabilitatea ei numai pentru controlul materialelor conducătoare de curent (carcasa sondei constituie simultan şi un conductor de curent). Sonda închisă rigidă reprezentată în fig. 9.1, *b* nu prezintă aceste deficienţe; în ea plăcuţa piezoelectrică *1* este acoperită cu capacul metalic *7* avînd grosimea pînă la 0,1 mm. Între suprafaţa şlefuită a plăcuţei piezoelectrice şi capac se găseşte un strat subţire de ulei pentru îmbunătăţirea contactului acustic. Tensiunea se aplică suprafeţei interioare argintate a plăcuţei piezoelectrice şi capacului. Deşi există pierderi de energie ultrasonoră la limitele de separaţie (plăcuţa piezoelectrică-capacul sondei-piesă), o asemenea construcţie a sondei are avantajul că permite controlul oricăror materiale, inclusiv nemetalice. Durata de serviciu a unei plăcuţe piezoelectrice utilizate în asemenea sonde nu este limitată de uzura suprafeţelor ei active. În practica defectoscopiei îşi găsesc aplicaţii ambele tipuri de sonde descrise mai sus.

Scanned with OKEN Scanner

Pentru controlul produselor cu suprafaţă rugoasă şi neuniformă, se utilizează sonde moi cu perne hidraulice. Construcţia unei sonde de acest fel este reprezentată în fig. 9.2. Într-o asemenea sondă plăcuţa piezoelectrică este introdusă într-un înveliş moale de cauciuc umplut cu ulei. Perna de cauciuc este apăsată puternic pe suprafaţa produsului, şi deci suprafaţa învelişului moale de cauciuc va adera bine la neuniformităţile suprafeţei produsului,

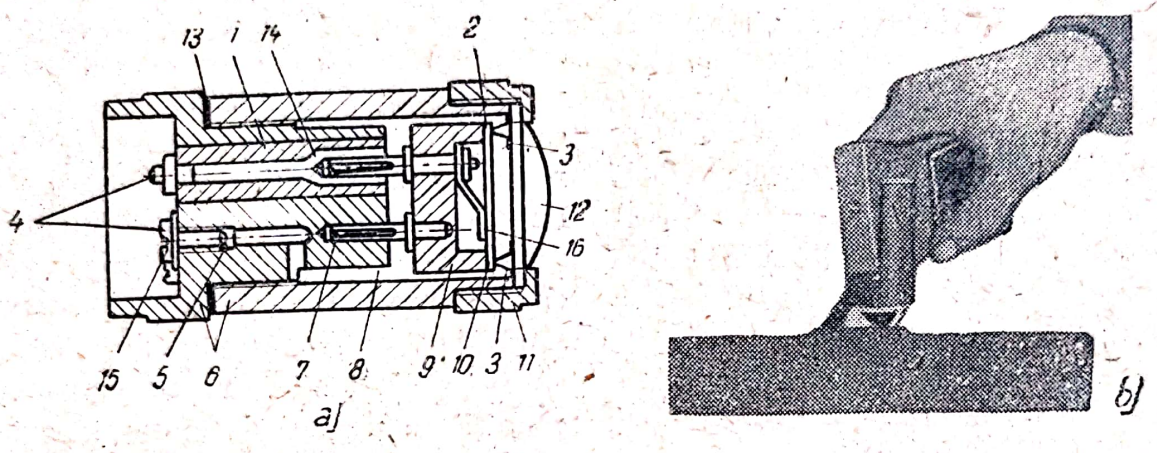


Fig. 9.2. Construcţia unei sonde (monturi) moi cu acţiune directă, cu pernă hidraulică:

a — construcţia sondei moi; *b* — aspectul general al sondei moi; *1* — bucşă din material izolant pentru electrodul interior; *2* — plăcuţă piezoelectrică; *3* — contactul arcuitor al electrodului exterior; *4* — şuruburi pentru conectarea cablului; *5* — canal pentru umplerea cu lichid; *6* — carcasă demontabilă; *7* — ştift; *8* — partea interioară a carcasei demontabile; *9* — inel de stringere interior din material izolant; *10* — electrozii de pe suprafaţa plăcuţei piezoelectrice; *11* — piuliţă de stringere exterioară; *12* — pernă de cauciuc; *13* — garnitură de cauciuc; *14* — contactul electrodului interior; *15* — şurub-dop în canalul pentru umplerea cu lichid; *16* — contact arcuitor interior.

îmbunătăţind contactul acustic. Adeseori, utilizarea unor asemenea sonde nu necesită umezirea cu ulei a suprafeţei piesei. Pentru a face lucrul mai comod atunci cînd se folosesc sonde moi, se utilizează diverse construcţii de sonde glisante cu suprafaţă cauciucată. Plăcuţa piezoelectrică se montează la centrul sondei şi spaţiul liber se umple cu ulei. Utilizarea sondelor moi, deşi pretinde o putere mărită a generatorului sau o sensibilitate mai mare a amplificatorului, accelerează apreciabil procesul de examinare a suprafeţelor mari prelucrate brut.

În multe cazuri, cu scopul de a se scoate în evidenţă defectele aflate în locuri inaccesibile, precum şi defectele aşezate de-a lungul direcţiei de propagare a undei ultrasonore, este necesar ca undele ultrasonore să fie transmise în produs sub un unghi oarecare faţă de suprafaţă. În acest scop se utilizează sonde prismatice de construcţii diferite, care asigură trimiterea undelor ultrasonore în produsul studiat, sub diferite unghiuri.

În fig. 9.3 este arătat aspectul general al unui traductor prismatic. Corpul traductorului prismatic este de obicei confecţionat din plexiglas.

Defectoscoapele cu ultrasunete sînt înzestrate în mod obişnuit cu un set de diferite sonde (fig. 9.4), inclusiv sonde prismatice cu diferite unghiuri de înclinare.

Scanned with OKEN Scanner

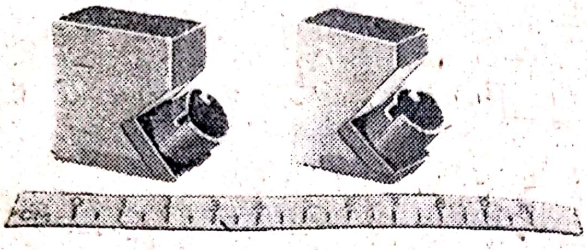


Fig. 9.3. Aspectul exterior al sondelor prismatice.

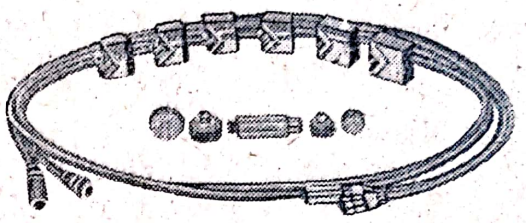


Fig. 9.4. Complet de sonde ultrasonore.

Defectoscoapele ultrasonore existente pot fi împărţite în următoarele tipuri caracteristice: defectoscoape cu radiaţie continuă, defectoscoape cu impulsuri, defectoscoape grosimetre bazate pe rezonanţă, defectoscoape cu ultrasunete cu vizualizarea defectului şi microscoape cu ultrasunete.

În conformitate cu clasificarea dată, se descriu mai jos principalele tipuri de defectoscoape cu ultrasunete care şi-au găsit aplicaţii în industrie.

a) Defectoscoape cu ultrasunete cu radiaţie continuă cu „umbră"

Principiul de funcţionare al defectoscoapelor cu „umbră" cu radiaţie continuă a ultrasunetelor se bazează pe faptul că undele ultrasonore care pătrund în materialul studiat venind de la sursa de vibraţii ultrasonore (sondă emiţătoare), atunci cînd întîlnesc în calea lor un defect — de pildă o fisură sau o cavitate în interiorul epruvetei —, nu trec prin aceasta, deoarece graniţa defectului constituie limita de separaţie a două medii eterogene (de exemplu metal-aer). Dincolo de defect se formează o regiune de aşa-numită „umbră sonoră", lucru care este sesizat de aparatul indicator al amplificatorului, la intrarea căruia este conectată sonda receptoare. În locurile unde nu există defect (sau dimensiunile lui sînt mai mici decît lungimea de undă a radiaţiei ultrasonore), sonda-receptoare, amplasată coaxial de partea opusă a produsului, recepţionează vibraţii ultrasonore de o anumită intensitate, indicate de aparatul indicator. Dacă între sonda emiţătoare şi sonda receptoare se va afla însă un defect, intensitatea vibraţiilor ultrasonore recepţionate va scădea brusc.

În fig. 9.5 este reprezentată o schemă-bloc care ilustrează funcţionarea unui defectoscop cu ultrasunete bazat pe metoda „umbrei". După cum reiese din schemă, generatorul de oscilaţii electrice de înaltă frecvenţă *1* excită vibraţiile mecanice ale sondei emiţătoare (plăcuţei piezoelectrice) *2*, aşezată pe epruveta studiată *4*. Pe cealaltă parte a epruvetei, coaxial cu sonda emiţătoare *2*, este aşezată plăcuţa piezoelectrică a sondei receptoare *3*. Undele ultrasonore *6*, trecînd prin epruveta *4*, excită în sonda receptoare *3* vibraţii care sînt amplificate de amplificatorul *7* şi sînt indicate de aparatul cu ac indicator *8*. Dacă între sonda receptoare şi sonda emiţătoare se găseşte defectul *5*, dincolo de defect se formează regiunea de umbră sonoră, intensitatea undelor ultrasonore care ajung la receptor scade brusc şi indicatorul *8* va arăta existenţa

unui defect în material. Toate defectoscoapele cu ultrasunete care funcţionează cu radiaţie continuă a vibraţiilor ultrasonore şi sînt bazate pe metoda „umbrei" se caracterizează printr-un dezavantaj comun. Dacă dimensiunile defectului sînt mai mici decît lungimea de undă a radiaţiei ultrasonore, din cauza fenomenului de difracţie nu mai apare zona de umbră sonoră dincolo de defect şi defectul nu mai poate fi descoperit. Utilizînd un defectoscop cu ultrasunete, cu radiaţie continuă şi folosind metoda umbrei la frecvenţa de 1 MHz se poate descoperi un defect cu secţiunea de cel puţin 2 mm², în cazul cînd distanţa dintre acest defect şi plăcuţa piezoelectrică a sondei receptoare nu depăşeşte 0,3 mm. Aceasta înseamnă că, schimbînd locurile sondei de recepţie şi celei de emisie, se poate descoperi un defect cu secţiunea de peste 2 mm, în cazul cînd grosimea oţelului este pînă la 0,6 mm, chiar în cele mai nefavorabile condiţii de amplasare a defectului în interiorul piesei controlate. În condiţiile reale de măsurare sensibilitatea defectoscoapelor bazate pe metoda umbrei va fi ceva mai mică din cauza existenţei unui contact imperfect între suprafaţa produsului şi sondele defectoscopului.

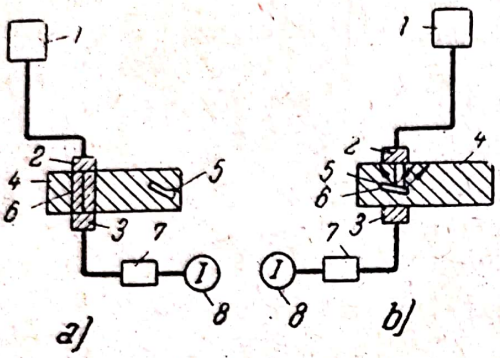


Fig. 9.5. Schema-bloc a unui defectoscop cu ultrasunete funcţionînd conform metodei umbrei:

a — nu există defecte; *b* — există un defect; *1* — generator de ultrasunete; *2* — traductor-emiţător (sondă); *3* — traductor-receptor (sondă); *4* — produsul controlat; *5* — suflură; *6* — fasciculul ultrasonor; *7* — amplificator; *8* — indicator.

Defectoscopul УЗД-*6*. După cum reiese din schemă (fig. 9.6), se utilizează un amplificator de bandă largă, realizat cu tuburi 6Ж4. Oscilatorul defectoscopului este realizat conform montajului cu autooscilare, cu două tuburi electronice 6П3. Frecvenţele generate de oscilator sînt cuprinse între limitele 0,8—1,2 MHz, ceea ce elimină complet posibilitatea apariţiei undelor staţionare, în cazul iradierii cu ultrasunete a unui metal de orice grosime. Puterea de rezoluţie a defectoscopului УЗД-6 corespunde graficului din fig. 9.7. Aspectul exterior al defectoscopului УЗД-6 este arătat în fig. 9.8. Defectoscopul УЗД-6 este construit sub forma unui singur bloc şi este prevăzut cu un complet de sonde moi de tip pistol. Pe panoul frontal al defectoscopului se găsesc un aparat cu ac indicator, jacurile pentru conectarea sondei emiţătoare şi celei receptoare, precum şi butoanele de comandă.

Defectoscop bazat pe metoda umbrei, pentru controlul automat al tablelor laminate. Această instalaţie permite să se descopere defectele de pe întreaga lăţime a unei table de oţel care se deplasează, cu înregistrarea locului defect direct pe tablă supusă controlului, sau pe o hîrtie pe care se indică poziţia defectului. Viteza de control al materialului este de 2—3 m/min.

Spaţiul dintre sondele emiţătoare şi cele receptoare este umplut cu apă, pentru crearea unui contact acustic sigur. Instalaţia se compune dintr-un generator de oscilaţii electrice de înaltă frecvenţă, două comutatoare mecanice, un complet de plăcuţe piezoelectrice emiţătoare şi receptoare, un aparat înre-

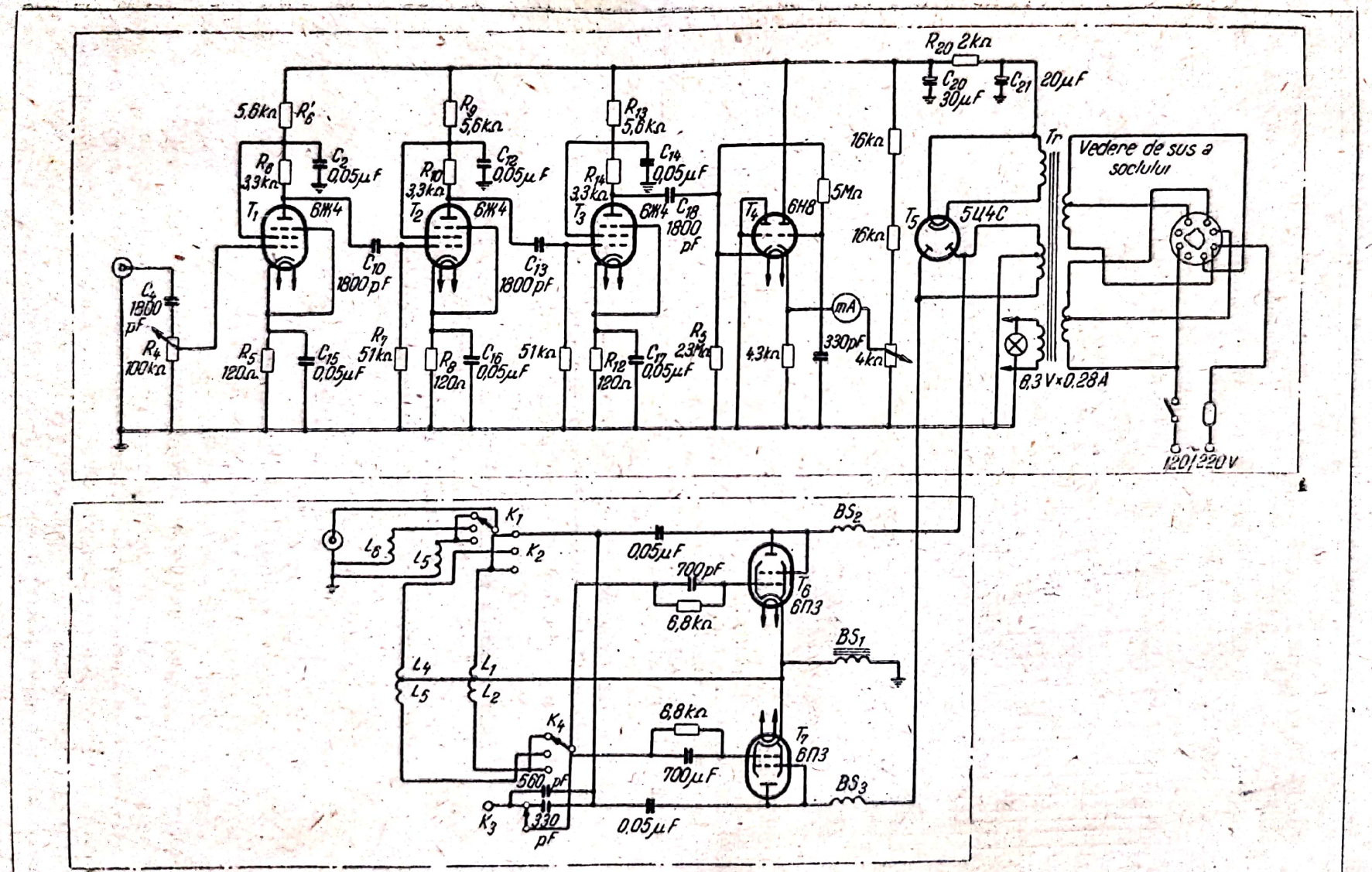


Fig. 9.6. Schema de principiu a defectoscopului УЗД-6

gistrator şi un dispozitiv pentru deplasarea tablei de oţel. Tabla de oţel trece printre 10 perechi de plăcuţe piezoelectrice emiţătoare şi receptoare. Cu ajutorul unui comutator oscilaţiile electrice sînt aplicate unuia dintre vibratoarele piezoelectrice, iar plăcuţa piezoelectrică receptoare coaxială cu acesta se conectează la intrarea unui amplificator. Vibraţiile acustice trec prin apă şi prin tabla de metal care se deplasează şi acţionează asupra sondei receptoare

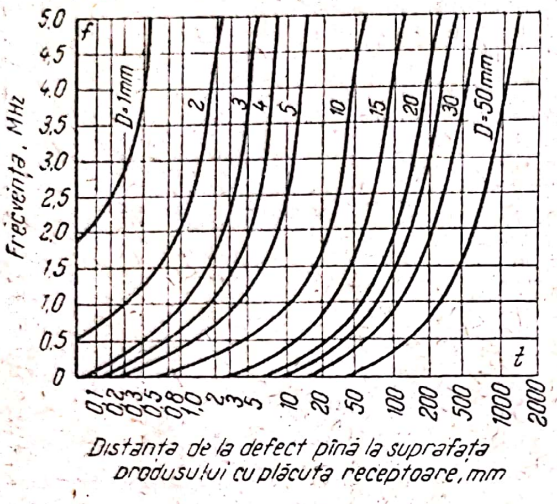


Fig. 9.7. Grafic care arată variaţia sensibilităţii teoretice obţinute în cazul metodei defectoscopiei cu ultrasunete cu radiaţie directă a semnalului şi cu metodă de recepţie prin umbră, ţinînd seama de fenomenul de difracţie.

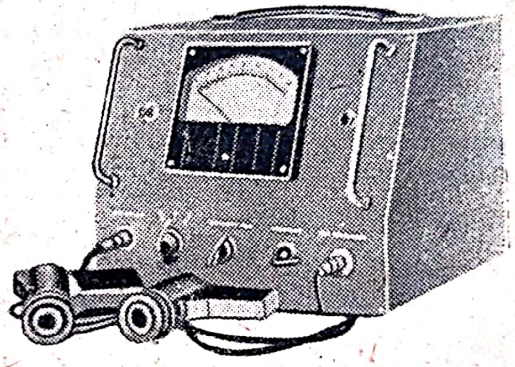


Fig. 9.8. Aspectul exterior al defectoscopului УЗД-6.

corespunzătoare, iar prin intermediul acesteia — şi asupra aparatului înregistrator. Sondele emiţătoare şi cele receptoare sînt comutate în perechi, la fiecare 0,05 s. Partea electronică a amplificatorului şi aparatului înregistrator reacţionează la o atenuare a semnalului, care indică existenţa unui defect; totodată, pe o hîrtie specială se trasează urma defectului. Funcţionarea aparatului înregistrator se face în sincronism cu funcţionarea comutatoarelor şi cu deplasarea tablei de material controlat. Pentru a se elimina acţiunea perturbatoare a undelor staţionare, s-a folosit o modulaţie de frecvenţă de 100 kHz, realizată cu ajutorul unui condensator variabil al cărui rotor este învîrtit de un motor electric. Instalaţia permite descoperirea unor defecte avînd suprafaţa peste 0,5 cm^2. Instalaţii analoge pot fi folosite pentru controlul metalelor colorate şi al materialelor nemetalice.

Defectoscop pentru controlul calităţii anvelopelor de automobil (fig. 9.9). Acest aparat funcţionează tot pe baza metodei umbrei. Generatorul excită vibraţii într-un vibrator piezoelectric amplasat într-un rezervor cu apă. În acelaşi rezervor se găsesc anvelopa supusă controlului şi traductoarele-receptoare piezoelectrice. Vibraţiile ultrasonore cu frecvenţe de 40—80 kHz trec prin anvelopă, sînt recepţionate de traductoarele-receptoare şi, după ce sînt amplificate, ajung la un aparat indicator cu ac. Dacă în anvelopă există o incluziune de aer, undele ultrasonore vor fi reflectate de aceasta, iar intensitatea semnalului se va micşora.

Instalaţia descrisă permite descoperirea unor defecte cu suprafaţa de cel puţin 1 cm^2. Pentru controlul unei anvelope sînt necesare numai cîteva minute.

Defectoscop pentru controlul cusăturilor sudate la rece. Un mare interes prezintă defectoscopul cu ultrasunete, bazat pe metoda umbrei, care controlează ermetizarea cusăturilor — sudate la rece — ale învelişurilor cablurilor de aluminiu. Modul de funcţionare al acestui defectoscop este ilustrat în fig. 9.10.

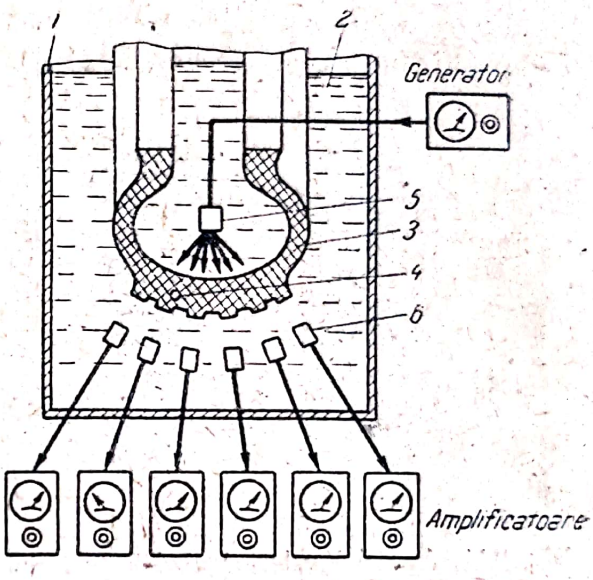


Fig. 9.9. Schema-bloc a instalaţiei pentru controlul anvelopelor de automobil:

1 — rezervor; *2* — apă; *3* — anvelopa controlată; *4* — cavitate cu aer; *5* — traductor-emiţător piezoelectric; *6* — traductoare-receptoare piezoelectrice.

O particularitate distinctivă a acestui defectoscop constă în utilizarea unui sistem acustic focalizator la traductorul-emiţător şi la traductorul-receptor, ceea ce permite mărirea puterii de rezoluţie şi a sensibilităţii metodei umbrei.

Defectoscoape cu ultrasunete, bazate pe metoda umbrei de tip УЗД-1δ *şi* УЗД-2δ. Schemele de principiu ale acestor defectoscoape sînt identice. Ele se disting numai prin construcţia lor: defectoscopul УЗД-1δ este realizat sub forma a două blocuri, iar defectoscopul УЗД-2δ — sub forma unui singur bloc. Aparatele sînt destinate să descopere defectele în piese de beton cu grosimea pînă la 2 m şi anume fisuri şi incluziuni cu aria de 8—10 cm^2, aşezate perpendicular pe traseul de propagare a ultrasunetelor. Acţiunea perturbatoare a undelor staţionare este atenuată datorită folosirii modulaţiei de frecvenţă. În cazul cînd suprafaţa este rugoasă, se foloseşte un vibrator piezoelectric cu pernă hidraulică, şi un traductor-receptor de acelaşi fel.

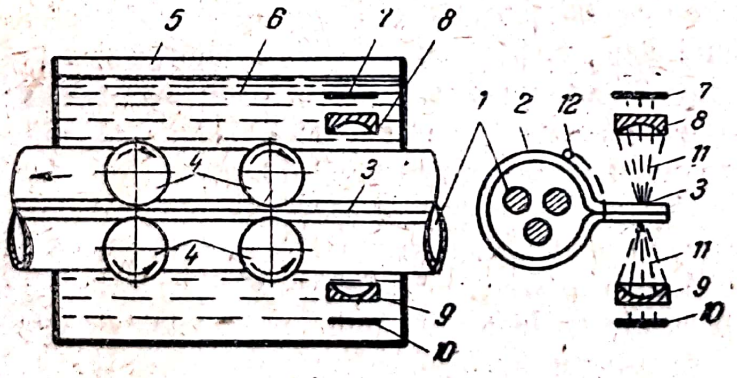


Fig. 9.10. Schema-bloc a unei instalaţii cu ultrasunete pentru controlul prin metoda umbrei a calităţii cusăturilor de aluminiu al unui cablu de joasă tensiune:

1 — cablu; *2* — înveliş de aluminiu; *3* — cusătură obţinută prin sudare la rece; *4* — role de sudare; *5* — baie de lichid; *6* — lichid pentru contactul acustic între dispozitivul de emisie şi cel de recepţie şi cusătura controlată; *7* — plăcuţă piezoelectrică emiţătoare; *8* — lentilă acustică pentru focalizarea fasciculului de ultrasunete produs de plăcuţa emiţătoare; *9* — lentilă acustică pentru obţinerea unui fascicul de ultrasunete paralel; *10* — plăcuţă piezoelectrică receptoare; *11* — fascicul de ultrasunete; *12* — capete îndoite ale învelişului după controlul cu ultrasunete.

Undele ultrasonore transmise în produs acţionează asupra traductorului receptor şi creează, pe armăturile plăcuţei acestuia, sarcini electrice care sînt amplificate şi apoi înregis-

trate de aparatul indicator. Un defect de dimensiuni comensurabile cu lungimea de undă şi cu aria plăcuţei de sare Seignette atenuează considerabil energia sonoră, fapt pe care aparatul indicator îl semnalează. În fig. 9.11 este arătat aspectul general al defectoscopului УЗД-1δ..

Generatorul este realizat cu trei tuburi electronice, conform unei scheme compusă dintr-un multivibrator şi un amplificator de putere. În circuitul anodic al multivibratorului este conectat un tub electronic. La grila de comandă a acestuia se aplică o tensiune alternativă de 4—5 V, care îi modifică rezistenţa internă, prin urmare şi frecvenţa oscilaţiilor generate de multivibrator. Acest montaj asigură o deviaţie de frecvenţă egală cu 20—25% în cazul unor frecvenţe purtătoare de 50—70 kHz şi al unei frecvenţe de modulaţie de 100 Hz. În circuitul anodic al amplificatorului de putere este conectat vibratorul piezoelectric, prin intermediul unui transformator de adaptare. Partea de recepţie a defectoscopului este constituită dintr-un bloc electronic cu cinci etaje. Primele două etaje constituie un amplificator de curent alternativ la intrarea căruia este conectat traductorul-receptor piezoelectric. Semnálul amplificat este detectat şi se aplică la intrarea unui amplificator de curent continuu cu două etaje, realizat cu o dublă triodă. În circuitul anodic al amplificatorului de curent continuu se găseşte un releu care închide circuitul unei lămpi de semnalizare: acesta din urmă, împreună cu un miliampermetru, înregistrează semnalul. Pe scara aparatului sînt trasate diviziuni convenţionale. În absenţa defectelor, acul aparatului deviază complet; totodată, se aprinde lampa de semnalizare. O deviaţie neînsemnată a acului, aproximativ pînă la 1/5 din scară, dovedeşte existenţa unui defect. Monturile în care se fixează plăcuţele piezoelectrice ale traductorului-emiţător şi celui receptor sînt identice din punct de vedere constructiv. Plăcuţele piezoelectrice sînt tăiate din cristale de sare Seignette, avînd dimensiunile de 20×20×3 mm la traductorul emiţător şi de 40×40×3 mm la traductorul-receptor. Grosimea plăcuţelor nu are importanţă, deoarece frecvenţa generatorului variază. Membrana de cauciuc cuplată acustic cu plăcuţa dă posibilitatea să se controleze produsele cu suprafaţă rugoasă. Se pot supune controlului produse avînd grosimea de fracţiuni de milimetru. Cu ajutorul defectoscoapelor УЗД-1δ şi УЗД-2δ se poate controla calitatea betonului, a produselor din beton armat, lipirea maselor plastice, se poate descoperi stratificarea în cauciucurile de automobil şi altele.

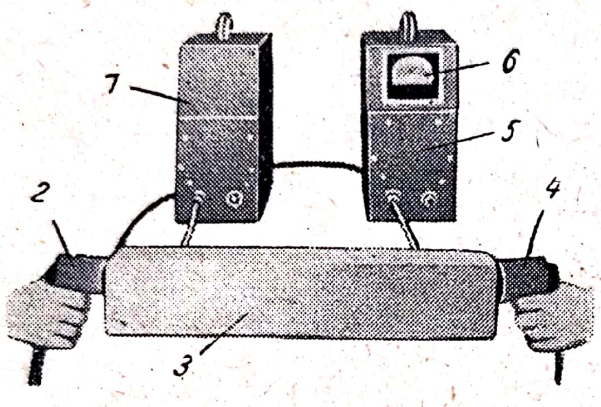


Fig. 9.11. Aspectul exterior al defectoscopului:
1 — generator; *2* — traductor-emiţător; *3* — produsul controlat; *4* — traductor-receptor; *5* — dispozitiv de măsură; *6* — instrument cu ac indicator.

Scanned with OKEN Scanner

b) Defectoscoape cu ultrasunete cu funcţionare în regim de impulsuri

Principiul de funcţionare al defectoscoapelor cu ultrasunete care lucrează în regim de impulsuri este, sub multe aspecte, asemănător cu principiul de funcţionare al staţiilor de radiolocaţie. Unda ultrasonoră care se propagă în materialul studiat, cînd întîlneşte un obstacol de forma limitei de separaţie a două medii (de pildă o incluziune de aer în oţel), va fi reflectată de această limită de separaţie. Undele reflectate pot fi recepţionate, amplificate şi aplicate unui aparat indicator. Defectoscoapele cu impulsuri pot funcţiona cu una sau două sonde, aşezate, pe produs numai pe o singură parte. Acesta este unul dintre cele mai importante avantaje ale defectoscoapelor cu impulsuri, care permite să se efectueze controlul unui produs atunci cînd acesta din urmă este accesibil numai dintr-o singură parte, spre deosebire de defectoscoapele bazate pe metoda umbrei.

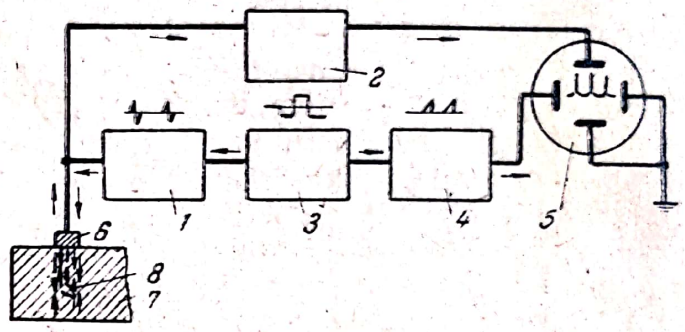


Fig. 9.12. Schema-bloc a unui defectoscop ultrasonor cu impulsuri:

1 — generator de impulsuri; *2* — amplificator de recepţie; *3* — oscilator pilot; *4* — generator de baleiaj; *5* — tub catodic; *6* — sondă piezoelectrică; *7* — produsul controlat; *8* — defect.

Schema-bloc tipică a unui defectoscop cu ultrasunete cu funcţionare în regim de impulsuri este reprezentată în fig. 9.12. Acest defectoscop cu ultrasunete funcţionează în modul următor: pe epruveta 7 care urmează a fi studiată se aşază o sondă piezoelectrică receptoare-emiţătoare *6*. Generatorul de înaltă frecvenţă *1* generează impulsuri de tensiune de înaltă frecvenţă, care — cu ajutorul unui comutator electronic — sînt aplicate la anumite intervale de timp sondei piezoelectrice, excitînd în aceasta vibraţii ultrasonore. În intervalele dintre impulsurile de înaltă frecvenţă sonda piezoelectrică este conectată de către comutatorul electronic la amplificatorul 2.

Aşadar, sonda piezoelectrică funcţionează alternativ fie ca emiţător de vibraţii ultrasonore, fie ca receptor al acestor vibraţii. Dispozitivul de comandă, în sincronism cu funcţionarea generatorului, asigură baleiajul unui fascicul de electroni, care „desenează" pe ecranul tubului catodic o linie luminoasă şi simultan apare pe ecran impulsul „iniţial" de la generator.

Undele ultrasonore produse în epruveta controlată, în timpul cît funcţionează generatorul, se vor propaga prin epruvetă şi ajungînd la capătul opus al acesteia, vor fi reflectate. Întrucît în toată perioada de trecere a undelor ultrasonore, după trimiterea unui impuls, sonda piezoelectrică este conectată la amplificator, ea funcţionează în acest timp ca receptor pentru vibraţiile ultrasonore.

O mare parte dintre undele ultrasonore reflectate de peretele opus va ajunge la sonda piezoelectrică, va fi amplificată de amplificatorul 2 şi va fi aplicată plăcilor de deflecţie ale tubului catodic, pe ecranul căruia va apărea

impulsul semnalului „de fund". Dacă pe drumul de propagare a undelor ultrasonore se va găsi obstacolul 8 (un defect), o parte din undele sonore vor fi reflectate de acesta (înainte ca semnalul de fund să ajungă la sonda piezoelectrică), vor fi amplificate şi aplicate plăcilor de deflecţie ale tubului catodic. Pe ecranul tubului apare impulsul reflectat de defect. Datorită funcţionării în sincronism a baleiajului fasciculului de electroni ai tubului catodic, generatorului, comutatorului şi celorlalte părţi componente ale defectoscopului, poziţia reciprocă a impulsurilor observate pe ecranul tubului catodic caracterizează adîncimea de amplasare a defectului, deoarece impulsul produs de defect se găseşte între impulsul iniţial şi cel de fund de pe ecranul tubului catodic. Marcînd pe ecranul tubului nişte repere de timp la o scară corespunzătoare, se poate determina relativ exact adîncimea la care se găseşte defectul. Datorită directivităţii undelor ultrasonore, se poate determina de asemenea locul de amplasare a defectului în interiorul epruvetei cercetate, precum şi conturul lui. Pentru o marcare mai exactă şi mai simplă a adîncimii la care se găseşte defectul, la defectoscoapele moderne se utilizează nişte dispozitive speciale — aparate de măsurat adîncimea. Utilizarea unui asemenea aparat este deosebit de comodă în cazul cînd nu se poate măsura grosimea piesei şi cînd pe ecranul tubului catodic nu apare impulsul de fund.

Utilizarea aparatului de măsurat adîncimea extinde posibilităţile defectoscoapelor cu ultrasunete care funcţionează în regim de impulsuri. Ele pot fi utilizate şi pentru măsurarea grosimii produselor, atunci cînd suprafaţa acestora este accesibilă numai într-o singură parte.

Puterea de rezoluţie a defectoscoapelor cu ultrasunete funcţionînd în regim de impulsuri, depinde de viteza ultrasunetelor în materialul respectiv, de adîncimea la care se găseşte defectul şi de dimensiunile acestuia, de durata impulsurilor şi de durata pauzei dintre impulsuri. Pentru oţel, la defectoscoapele cu împulsuri au fost obţinute următoarele rezultate: în cazul cînd durata impulsului este de circa 0,6μs, se mai poate încă descoperi un defect aflat la o adîncime de cel puţin 0,7 mm (dacă se utilizează o sondă dreaptă). La majoritatea defectoscoapelor cu impulsuri, durata minimă a impulsurilor este cuprinsă între 1 şi 5μs, ceea ce permite descoperirea unor defecte aşezate la o adîncime de 12—15 mm de suprafaţa produsului. Pentru micşorarea „zonei moarte", în defectoscoapele cu impulsuri se recurge la diferite metode de „întîrziere" a impulsurilor, de pildă se folosesc sonde speciale etc. Adîncimea maximă la care se reuşeşte să se distingă un defect este de circa 10 m în cazul oţelului. Pe frecvenţa de 2,5 MHz se pot distinge bine defectele de forma unor pori de gaze cu diametrul de circa 0,7 mm, aflaţi la o adîncime de aproximativ 500 mm de suprafaţa produsului.

În prezent industria sovietică fabrică peste 10 tipuri de defectoscoape cu ultrasunete funcţionînd în impulsuri. Toate defectoscoapele cu impulsuri care sînt fabricate nu se disting în esenţă, în ce priveşte principiul lor de funcţionare, de schema tipică reprezentată în fig. 9.12. În tabela 9.1 sînt enumerate principalele caracteristici ale cîtorva defectoscoape cu ultrasunete, funcţionînd în impulsuri, de fabricaţie sovietică.

Defectoscoapele УЗД-7*Н*. Pe scară largă este răspîndit defectoscopul cu ultrasunete, cu funcţionare cu impulsuri, de tip УЗД-7Н, al cărui aspect

TABELA 9.1

Tipul defectoscopului	Dimensiunile de gabarit mm	Greutatea kg	Diametrul ecranului tubului catodic mm	Puterea absorbită W	Particularităţi caracteristice
УЗД-8	450×315×210	21	125	150	Există posibilitatea de comutare pentru funcţionarea cu una şi cu două sonde
УЗД-10	350×235×180	10	75	120	Idem
УЗД-12	200×315×450	18	125	150	Particularităţile caracteristice sînt aceleaşi
УЗД-2	285×235×153	8,5	125	150	Funcţionarea cu două sonde. Defectoscopul este constituit sub forma unui adaptor pentru oscilograf. Dimensiunile de gabarit sînt indicate fără oscilograf, iar puterea absorbită este indicată împreună cu oscilograful
УЗД-5	285×235×153	8,5	75	200	Funcţionare cu o sondă
УЗД-7	285×235×153	8,5	75	200	Funcţionare cu una şi două sonde
УЗД-7М	285×235×135	8,5	75	200	Funcţionare cu două sonde şi o sondă
УЗД-7Н	285×235×153	8,5	75	200	Idem
УДЦ-10	340×230×200	12	—	70	Cu peniţă înregistratoare
86-ИМ	505×358×226	21	125	220	Funcţionare cu două sonde
86-ИМ-2	505×358×226	21	125	220	Defectoscopul are un adaptor rezonant care permite comutarea pentru funcţionarea cu o sondă şi cu două sonde. Permite măsurarea grosimii metalului prin metoda rezonanţei
86-ИМ-3					Idem, dar cu gamă de frecvenţe mai mare
Defectoscop pentru calea ferată, model nr. 2			Alimentate de la acumulator de 6 V		Pe un cărucior cu patru roţi
УЗД НИИМ-2	340×230×200	6	—	120	Cu peniţă înregistratoare
УЗД-37	300×170×225	12	—	80	Serveşte la determinarea defectelor din barele de alamă şi de bronz
УЗД-38	480×330×240	16	—	130	Serveşte la determinarea defectelor din semifabricate şi din piese din metale colorate şi cu structură cu granulaţie mare.

Scanned with OKEN Scanner

exterior este arătat în fig. 9.13, iar schema de principiu în fig. 9.14. În defectoscop s-a prevăzut posibilitatea variaţiei vitezei de baleiaj a fasciculului şi, în mod corespunzător, variaţia duratei impulsurilor care excită vibratorul. În acest scop se utilizează comutatoarele K_5 şi K_6. Mărirea sensibilităţii amplificatorului pentru compensarea atenuării nivelului semnalului recepţionat, se face cu un comutator. Frecvenţele de lucru sînt de 2,8 şi 0,8 MHz. Defectoscopul este prevăzut cu un aparat de măsurat adîncimea. Tensiunea înaltă necesară tubului catodic (1500 V) se ia de la un redresor cu seleniu, asamblat din două coloane ABC-7-3. Aceeaşi tensiune se aplică şi jacurilor *IP*, pentru prepolarizarea periodică a plăcuţelor din titanat de bariu.

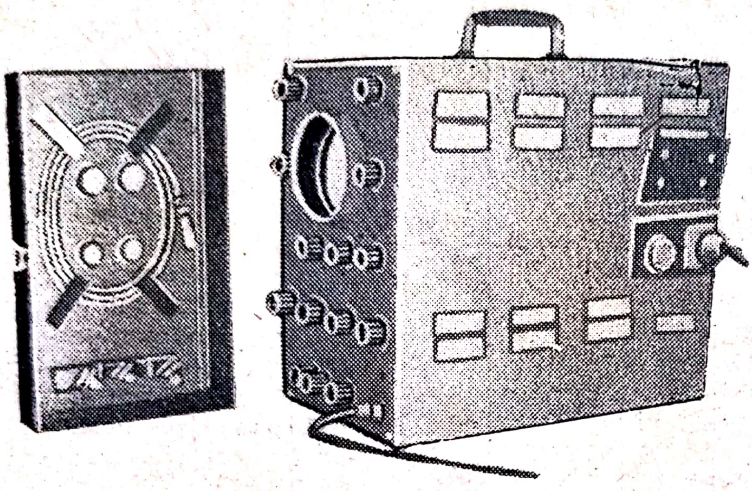


Fig. 9.13. Aspectul exterior al defectoscopului УЗД-7Н.

Pentru oţel, adîncimea maximă la care se mai pot descoperi defectele este de 2 600 mm (pentru sondele drepte) şi de 1 300 mm (pentru sondele prismatice). „Zona moartă", adică adîncimea minimă faţă de suprafaţă a unui defect care poate fi încă descoperit, este de 22 mm sau 7 mm, pe frecvenţele de lucru de 0,8 şi, respectiv, 2,8 MHz. Cînd se utilizează sonde prismatice, „zona moartă" practic dispare. Cu ajutorul defectoscopului УЗД-7Н se pot descoperi următoarele categorii de defecte: pe frecvenţa de 2,8 MHz — defecte cu aria de la 2 mm^2 în sus, aflate la o adîncime pînă la 200 mm, şi cu aria începînd de la 2 mm^2 în sus, aflate la o adîncime care nu depăşeşte 500 mm ; pe frecvenţa de 0,8 MHz — defecte cu aria începînd de la 20 mm^2 în sus, aflate la adîncime de cel mult 200 mm, şi defecte cu aria de 80 mm^2, aflate la o adîncime care nu depăşeşte 500 mm. Cu aparatul de măsurat adîncimea al defectoscopului УЗД-7Н se poate măsura grosimea unui material sau locul de aşezare a defectului, de la 7 pînă la 2 500 mm. Frecvenţa de repetiţie a impulsurilor este de 400—600 Hz, durata fiecărui impuls fiind de 1—1,5 μS.

Cu defectoscopul УЗД-7Н se poate lucra atît cu o singură sondă, cît şi cu două sonde (dintre care una funcţionează ca sondă emiţătoare, iar cea de-a doua — ca sondă receptoare), sau cu două sonde care funcţionează în paralel, pentru recepţie şi emisie. Defectoscopul este înzestrat cu un complet de diferite sonde (drepte şi prismatice), care permit să se aleagă metoda de „iradiere cu ultrasunete" a produsului, cea mai potrivită pentru fiecare caz concret.

Defectoscopul УЗД-2. Defectoscopul cu ultrasunete УЗД-2 este un adaptor care poate fi folosit cu un oscilograf de orice tip. Schema acestui defectoscop nu se deosebeşte în mod principial de cea descrisă mai sus, cu excepţia faptului că aparatul nu conţine un tub catodic şi un circuit de

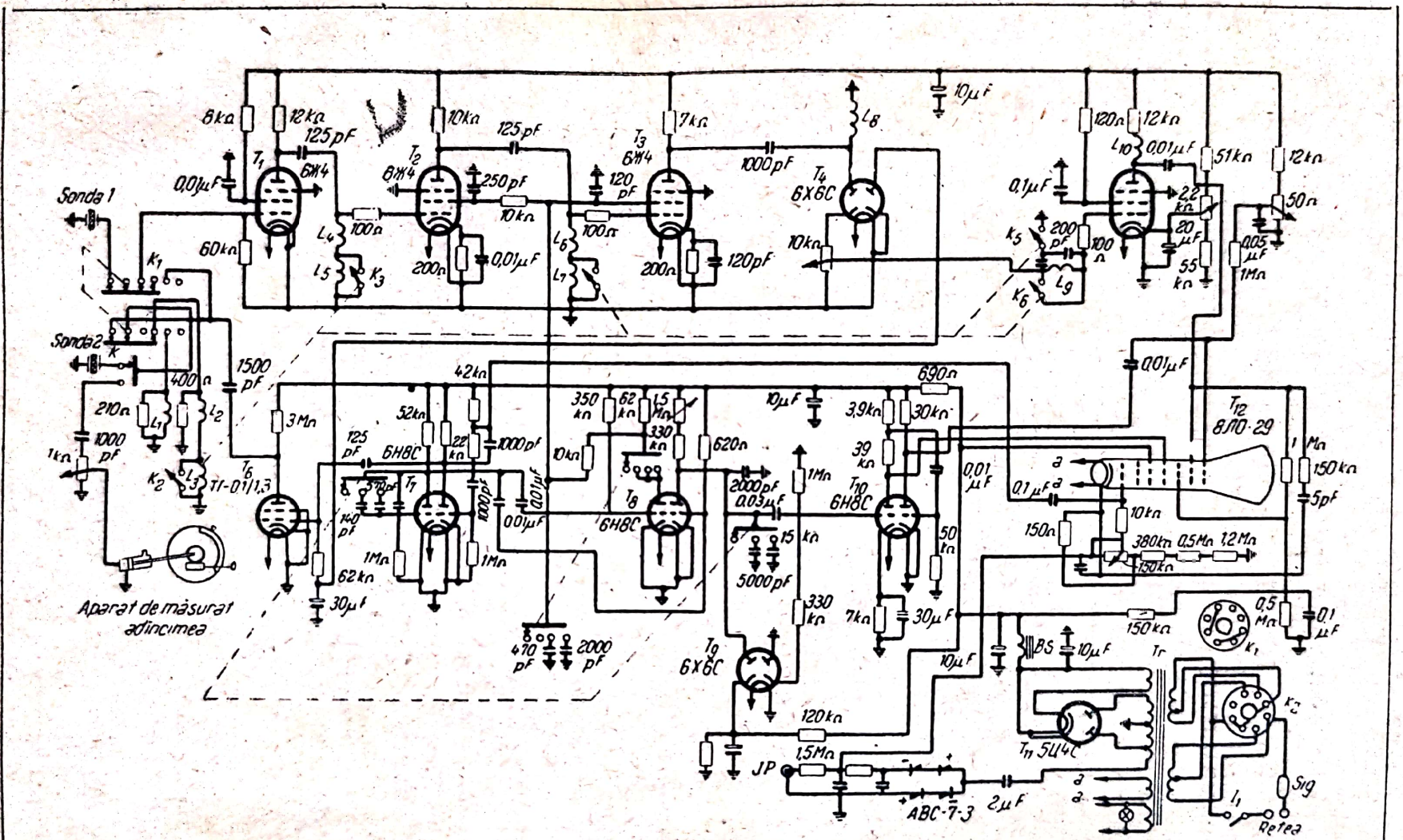


Fig. 9.14. Schema de principiu a defectoscopului УЗД-7Н.

baleiaj. În locul acestora se utilizează orice tip de oscilograf, conectat la defectoscop.

Defectoscopul НИИМ-2. Pentru controlul calităţii cusăturilor sudate ale podurilor şi ale altor construcţii metalice se utilizează cu succes defectoscopul de tip УЗД-НИИМ-2, a cărui schemă este reprezentată în fig. 9.15. În afară de elementele obişnuite ale defectoscoapelor cu impulsuri, la defectoscopul cu ultrasunete НИИМ-2 s-a prevăzut posibilitatea indicării defectelor nu numai pe ecranul unui tub catodic, dar şi cu ajutorul unei căşti telefonice (sub forma unui semnal sonor) şi prin înregistrare pe hîrtie.

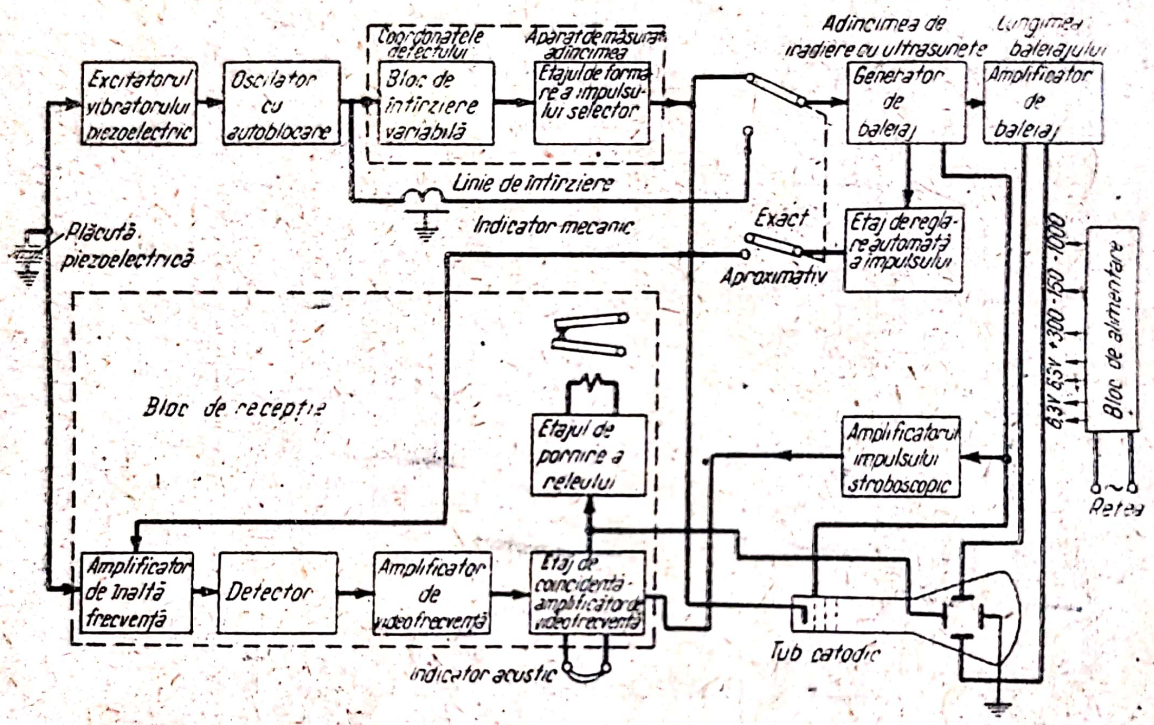


Fig. 9.15. Schema-bloc a defectoscopului cu ultrasunete УЗД-НИИМ-2.

În timpul funcţionării, sonda defectoscopului este deplasată — cu ajutorul unui dispozitiv special — pe o direcţie longitudinală şi una transversală, iradiind cu ultrasunete întreaga suprafaţă controlată. Defectoscopul funcţionează pe frecvenţa de 2,5 MHz şi poate asigura controlul defectelor în cusăturile sudate de la 2 pînă la 50 mm.

Defectoscopul este înzestrat cu un complet de sonde, la fel ca defectoscopul УЗД-7Н.

Defectoscoapele УЗД-12, ИМ-86 *şi* УЗД-7Э. Principiul de funcţionare al acestor defectoscoape nu se deosebeşte în esenţă de al celor descrise mai sus. Dintre ele, mai perfecţionat este defectoscopul УЗД-7Э, care se distinge prin faptul că conţine un aparat de măsurat adîncimea, care asigură o precizie mai mare de citire a adîncimii la care se găseşte defectul, datorită utilizării unui etalon electronic de timp în locul unei linii de întîrziere variabilă, cu lichid, folosită la defectoscopul УЗД-7Н. Aparatul etalon de măsurat adîncimi conţin în defectoscopul УЗД-7Э permite măsurarea grosimilor între limitele 7—300 mm. Eroarea de măsurare nu depăşeşte 1% în cazul grosimilor mari şi 5% în cazul grosimilor mici. Gama de lucru a defectoscopului a fost extinsă

şi este de 0,8—1,2—1,8—2,5 MHz. Pentru funcţionarea pe aceste frecvenţe există sonde curespunzătoare.

Defectoscopul УДЦ-*10* serveşte la controlul calităţii îmbinărilor sudate de mare grosime (fig. 9.16). Defectoscopul este prevăzut cu un dispozitiv pentru semnalizarea luminoasă a prezenţei unui defect (fig. 9.16, *b*). Schema de principiu a defectoscopului УДЦ-10 se deosebeşte de aceea a defectoscopului УЗД-7Н prin existenţa unui etalon electronic de timp pentru determinarea adîncimii la care se găsesc defectele şi prin numeroase alte perfecţionări care ameliorează caracteristicile de exploatare ale aparatului, în conformitate cu destinaţia lui. Defectoscopul УДЦ-10 posedă o sensibilitate suficient de bună Aria echivalentă minimă a defectelor care pot fi descoperite pe frecvenţa de

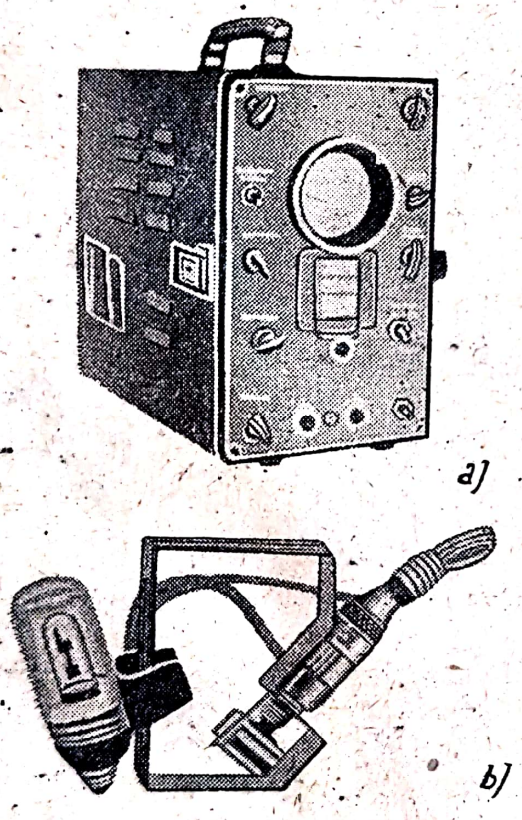


Fig. 9.16. Defectoscopul cu ultrasunete УДЦ 10:
a — aspectul exterior; *b* — sondă cu indicator luminos.

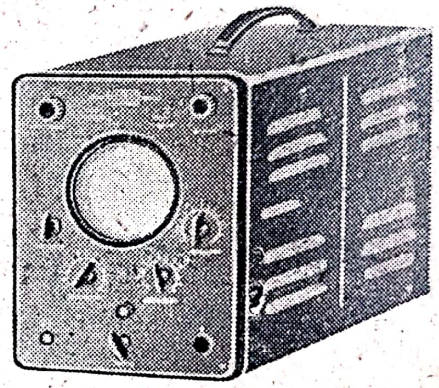


Fig. 9.17. Aspectul exterior al defectoscopului cu ultrasunete УЗД 37.

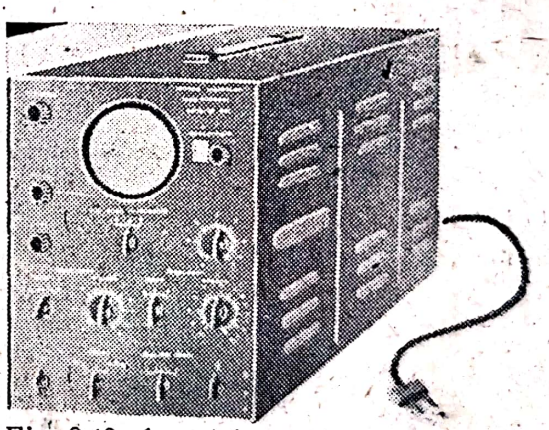


Fig. 9.18. Aspectul exterior al defectoscopului cu ultrasunete УЗД 38.

2,5 MHz este de circa 1 mm², iar pe frecvenţa de 1,8 MHz — de circa 2 mm². Adîncimea maximă de pătrundere a ultrasunetelor este de 1 200 mm în cazul oţelului (sonde drepte). Dacă se lucrează cu sonde drepte, „zona moartă" este de 30 mm.

Defectoscoapele УЗД-*37* (fig. 9.17) *şi* УЗД-*38* (fig. 9.18), spre deosebire de alte defectoscoape, au patru frecvenţe de lucru, fapt care permite utilizarea lor pentru defectoscopia metalelor care au atît o structură granulară măruntă, cît şi o structură granulară mare.

Aparatul УЗД-38 este înzestrat cu un aparat electronic de măsurat adîncimea, care permite determinarea distanţei pînă la defectele descoperite şi măsurarea grosimii produselor în cazul cînd acestea sînt accesibile numai dintr-o singură parte. Frecvenţele de lucru sînt de 0,5—1,5—3—5 MHz, iar adîncimea maximă de pătrundere a ultrasunetelor este de cel mult 2 000 mm (pentru titan). Eroarea de măsurare a distanţei pînă la defect este de 5%, în cazul unei distanţe care nu depăşeşte 100 mm, şi de 2,5%, în cazul unei distanţe de peste 100 mm. Aparatul este înzestrat cu sonde plane, pentru frecvenţele de 0,5—1,5—3—5 MHz, şi cu sonde prismatice, pentru frecvenţele de 1,5 şi 3 MHz, cu unghiuri de înclinare de 30, 40 şi 55°.

Se poate menţiona de asemenea defectoscopul pentru controlul şinelor de cale ferată (fig. 9.19). Acest defectoscop permite ca în decursul unei zile de

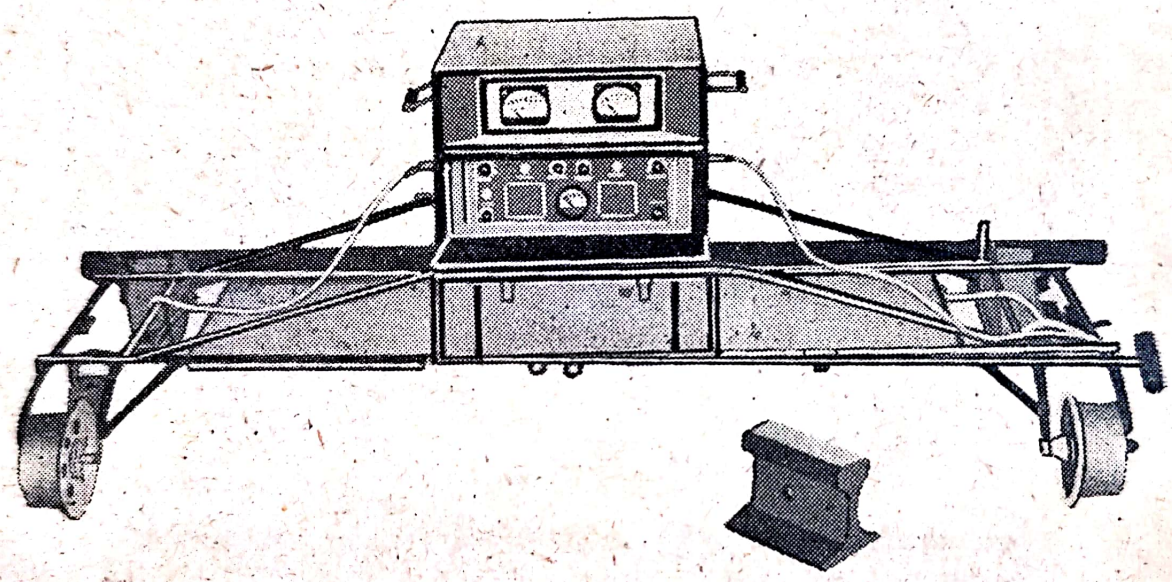


Fig. 9.19. Defectoscop pentru controlul şinelor.

lucru să se controleze 6—7 km de cale ferată. Defectoscopul se montează pe un cărucior cu 4 roţi acţionat manual (drezină) şi este prevăzut cu o semnalizare sonoră care intră în funcţiune la descoperirea unui defect. Se controlează simultan ambele şine. Alimentarea defectoscopului se face de la o baterie de acumulatoare.

Defectoscoapele УДМ-1 *şi* ДСТ-1. În fig. 9.20 este arătat aspectul exterior al aparatelor УДМ-1 şi ДСТ-1. Aparatul УДМ-1 are următorii parametri principali.

1. Sensibilitatea aparatului permite descoperirea unor defecte cu aria suprafeţei reflectante de cel puţin 1 mm², la adîncimi cuprinse între limitele 5—2 500 mm, pentru toate materialele şi pentru vibraţii atît longitudinale, cît şi transversale.

2. Eroarea de măsurare a distanţelor pînă la defecte sau de determinare a grosimii produselor, precum şi a vitezei ultrasunetelor în diverse materiale, nu depăşeşte 1—1,5% din valoarea totală a scării corespunzătoare gamei alese.

Scanned with OKEN Scanner

3. Aparatul oferă posibilitatea efectuării unui control strat cu strat al produsului, folosind în acest caz o semnalizare optică şi acustică a defectelor.

4. Pentru mărirea puterii de rezoluţie aparatul este prevăzut cu un baleiaj („lupă electronică"), datorită căruia este posibil să se examineze orice strat al produsului la o scară mărită.

5. Determinarea distanţei pînă la defecte şi măsurarea grosimii materialelor, care au diferite viteze de propagare a ultrasunetelor, precum şi determinarea distanţei pînă la defecte în cazul utilizării unor vibraţii transversale se fac pe o singură scară.

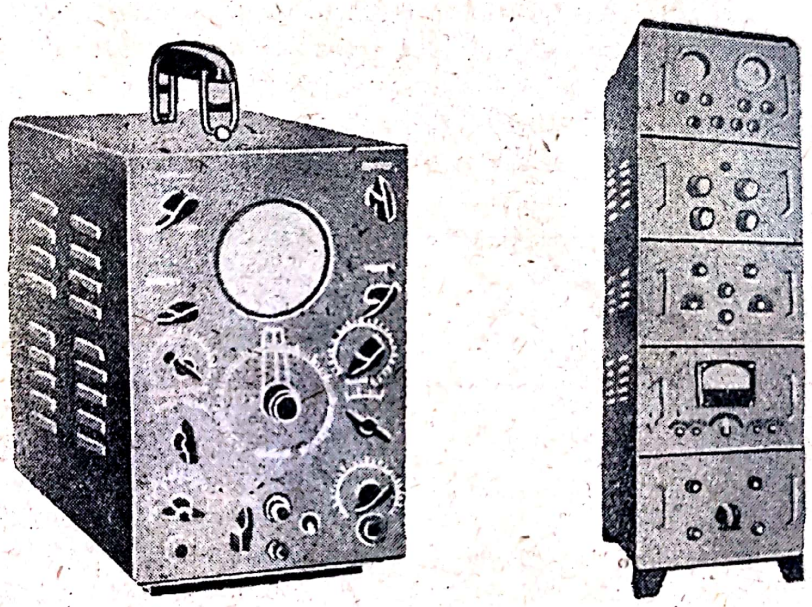


Fig. 9.20. Aspectul exterior al unor defectoscoape cu ultrasunete:
a — ЧДАМ-1; *b* — ДСТ-1.

6. Defectoscopul permite funcţionarea atît cu o sondă combinată, cît şi cu două sonde separate, de tipuri diferite.

7. Puterea absorbită de aparat nu depăşeşte 110 VA.

8. Greutatea aparatului este de 13 kg.

9. Dimensiunile de gabarit ale aparatului sînt de 350×200×310 mm.

Defectoscopul ДСТ-1 are următoarele caracteristici principale:

Frecvenţa vibraţiilor ultrasonore, MHz	2,5
Frecvenţa de repetiţie a impulsurilor de lucru, Hz	600
Tensiunea reţelei de alimentare, V	200
Puterea absorbită de la reţea, W	450
Mediul pentru contactul acustic	apă
Caracteristicile tuburilor controlate, mm:	
diametrul	76—152
grosimea peretelui	3—6
Dimensiunile de gabarit, mm	392×474×1 314
Greutatea, kg	145

c) Defectoscoape-grosimetre cu ultrasunete, bazate pe metoda rezonanţei

Defectoscoapele-grosimetre cu ultrasunete, bazate pe metoda rezonanţei, sînt folosite pentru măsurarea grosimilor, determinarea neuniformităţilor pereţilor tuburilor, descoperirea stratificărilor, a golurilor şi a altor defecte. Principiul de funcţionare al defectoscoapelor-grosimetre se bazează pe înregistrarea rezonanţei acustice care apare în momentul cînd un sfert din lungimea de undă a ultrasunetelor devine un multiplu al grosimii produsului supus măsurării şi în acesta se formează unde staţionare.

Apariţia rezonanţei depinde de viteza ultrasunetelor în materialul considerat, de grosimea acestuia şi de frecvenţa ultrasunetelor (de lungimea de undă). Prin variaţia frecvenţei, se alege un raport între grosimea materialului şi lungimea de undă a ultrasunetelor, pentru care apare fenomenul de rezonanţă. În momentul rezonanţei de la generàtor se absoarbe o cantitate minimă de energie care provoacă scăderea puternică a curentului generatorului, lucru semnalat de un aparat indicator. Drept aparate indicatoare se utilizează aparate cu ac şi tuburi catodice.

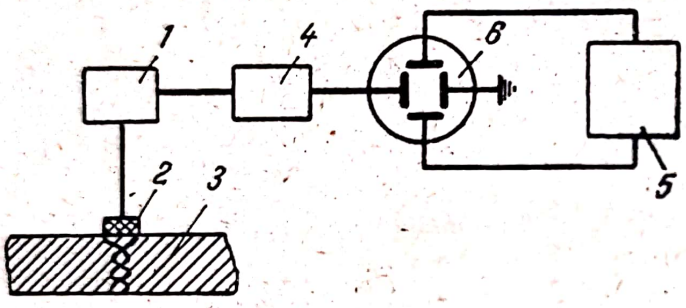


Fig. 9.21. Schema-bloc a unui defectoscop-grosimetru rezonant cu ultrasunete.

În fig. 9.21 este reprezentată schema-bloc a unui defectoscop-grosimetru cu ultrasunete, bazat pe metoda rezonanţei, în care drept aparat indicator se utilizează un tub catodic.

Pe epruveta *3* supusă încercării se pune sonda piezoelectrică *2* alimentată de la generatorul *1*. În momentul apariţiei rezonanţei curentul anodic al generatorului *1* scade brusc. Această variaţie a curentului anodic va fi amplificată de amplificatorul electronic *4*, la ieşirea căruia sînt conectate plăcile de deflecţie ale tubului catodic *6*. La cealaltă pereche de plăci se conectează circuitul de baleiaj *5*. Fiecare punct al axei de baleiaj corespunde unei anumite frecvenţe a generatorului. În momentul rezonanţei, pe ecranul tubului catodic apare un şir de impulsuri, care se aşază pe o porţiune corespunzătoare frecvenţei de rezonanţă a produsului controlat. În funcţie de numărul şi aşezarea impulsurilor care intersectează axa de baleiaj, se determină frecvenţa de rezonanţă, cu alte cuvinte şi grosimea produsului. În acest scop se prevăd grafice etalonate.

În prezent sînt cunoscute şi fabricate mai multe tipuri de defectoscoape-grosimetre similare. Defectoscoapele-grosimetre cu ultrasunete bazate pe metoda rezonanţei, de fabricaţie modernă, asigură măsurarea grosimilor de la 0,5 la 300 mm (pentru oţel). În acest caz gama de frecvenţe de lucru este cuprinsă între limitele 650 kHz — 6 MHz. Eroarea măsurărilor atinge 1% pentru suprafeţele plan-paralele, bine prelucrate şi se măreşte în cazul cînd se

înrăutăţesc condiţiile de măsurare (curbură, prelucrarea necorespunzătoare a suprafeţelor etc).

Utilizarea defectoscoapelor-grosimetre cu ultrasunete, bazate pe metoda rezonanţei, permite efectuarea unui control operativ şi eficace al grosimii unor materiale, atunci cînd produsul respectiv este accesibil dintr-o singură parte.

Defectoscopul-grosimetru cu ultrasunete УЗ-4М, T al cărui principiu de funcţionare este identic cu cel descris mai sus, este întrucîtva diferit în ce priveşte sistemul de citire. Acesta se compune dintr-un circuit de măsurare cuplat inductiv cu circuitul acordat al generatorului aparatului. În momentul rezonanţei, circuitul de măsurare va introduce o atenuare apreciabilă în circuitul acordat al generatorului, fapt datorită căruia pe ecranul aparatului va apărea un impuls auxiliar. Frecvenţa circuitului de măsurare este variată cu ajutorul unui condensator variabil şi în acest caz impulsul auxiliar se va deplasa pe ecranul tubului catodic de-a lungul axei de baleiaj. Măsurarea se face prin suprapunerea impulsului auxiliar cu impulsurile corespunzătoare rezonanţelor mecanice, citirea efectuîndu-se pe o scară cuplată cu butonul condensatorului variabil. După aceea, cu ajutorul riglei dispozitivului de citire se determină grosimea produsului.

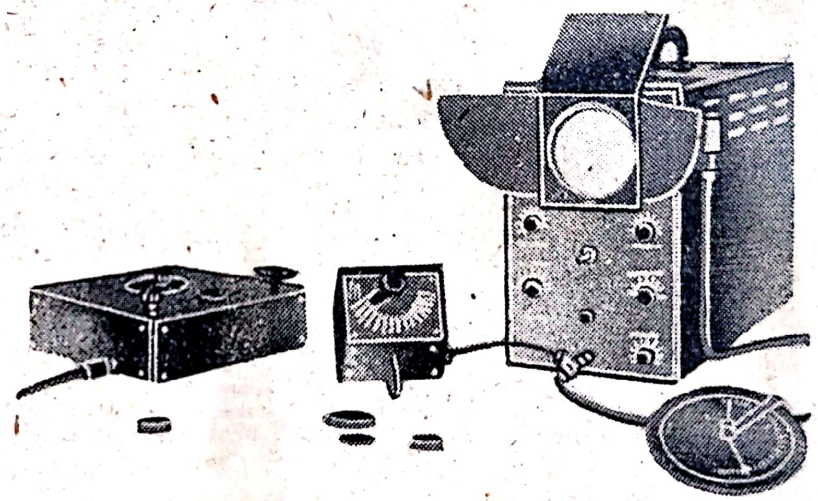


Fig. 9.22. Aspectul exterior al defectoscopului-grosimetru rezonant cu ultrasunete B-4-8P.

Defectoscopul-grosimetru B4-8P (fig. 9.22) posedă un sistem de citire simplificat pentru grosimi, care permite măsurarea directă a grosimii în materialele în care ultrasunetele se propagă cu viteză diferită, prin acordarea preliminară pe o epruvetă etalon.

d) Defectoscoape cu ultrasunete cu vizualizarea defectului şi microscoape cu ultrasunete

O nouă tendinţă în ce priveşte dezvoltarea defectoscopiei cu ultrasunete este crearea unor defectoscoape care să permită obţinerea unei imagini a defectelor interioare din materialele opace, în mărime naturală sau mărite de mai multe ori. Vizualizarea defectului face posibilă distingerea clară a formei şi caracterului defectului, de exemplu o suflură de incluziune oarecare etc., extinzîndu-se în felul acesta în mod considerabil posibilităţile defectoscopiei bazate pe ultrasunete.

Se cunosc mai multe metode de obţinere a unei imagini a defectelor cu ajutorul ultrasunetelor.

Scanned with OKEN Scanner

În fig. 9.23 este reprezentată o schemă care ilustrează funcţionarea microscopului cu ultrasunete cu radiaţie continuă, la care recepţia se face prin metoda umbrei cu ajutorul unui traductor piezoelectric montat pe ecranul unui tub catodic. Vibraţiile ultrasonore excitate în traductorul-emiţător, trecînd prin epruveta studiată, ajung la traductorul piezoelectric receptor, înglobat în ecranul tubului catodic. Sarcinile electrice care apar în fiecare punct de pe suprafaţa plăcuţei piezoelectrice din traductorul receptor, vor fi proporţionale cu intensitatea undelor ultrasonore în acel punct.

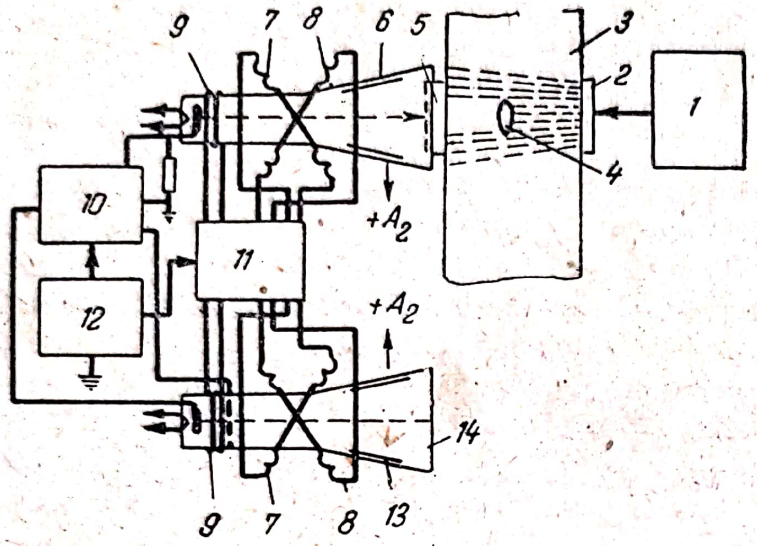


Fig. 9.23. Schema unui microscop cu ultrasunete cu recepţie prin metoda umbrei:

1 — generator; *2* — plăcuţă piezoelectrică emiţătoare; *3* — obiectul studiat; *4* — defect; *5* — plăcuţă piezoelectrică receptoare pe ecranul unui tub catodic; *6* — tub catodic; *7* şi *8* — bobinele de deflecţie ale tubului catodic; *9* — bobină de focalizare; *10* — amplificator; *11* — bloc de baleiaj; *12* — bloc de alimentare; *13* — tub cinescop; *14* — ecranul tubului cinescop pentru vizualizarea imaginii.

Fasciculul de electroni al tubului „ia" aceste sarcini într-o anumită ordine şi, după amplificare, semnalele rezultante se aplică unui tub cinescop obişnuit şi apar pe ecranul acestuia. Baleiajul tubului cinescop se face în sincronism cu baleiajul tubului catodic cu plăcuţă piezoelectrică. Dacă în epruveta studiată există un defect, regiunea de „umbră sonoră" care se formează este reprodusă pe plăcuţa piezoelectrică de recepţie, prin urmare şi pe tubul cinescop, pe ecranul căruia apare imaginea defectului. Pentru un contact acustic cît mai bun între epruveta studiată, traductorul emiţător şi cel receptor, plăcuţele piezoelectrice ale traductoarelor sînt introduse într-o baie cu lichid. Au fost realizate şi defectoscoape analoge cu recepţia unui semnal reflectat. Datorită utilizării unor lentile de focalizare s-a reuşit să se obţină mărirea de mai multe ori a imaginii defectului din materiale opace.

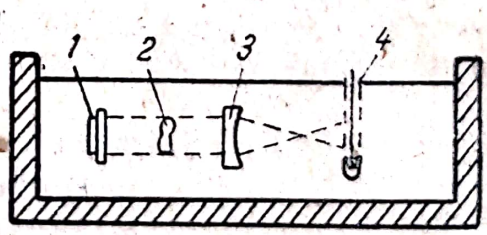


Fig. 9.24. Schema unei instalaţii pentru vizualizarea imaginilor obţinute cu ultrasunete:

1 — vibrator; *2* — obiectul studiat; *3* — lentilă de ultrasunete; *4* — casetă cu hîrtie fotosensibilă.

Există de asemenea o metodă de vizualizare a imaginilor ultrasonore, bazată pe fotodifuzie. În fig. 9.24 este dată o schemă care ilustrează principiul acestei metode.

Metoda difuziei se bazează pe accelerarea procesului de revelare cu ajutorul ultrasunetelor. O hîrtie fotografică expusă în prealabil este cufundată în caseta cu revelator, perpendicular pe fasciculul de ultrasunete. În acele locuri de pe hîrtia fotografică, unde ajung vibraţiile ultrasonore, revelarea se face mai repede şi

datorită acestui fapt se obţine imaginea secţiunii transversale a cîmpului ultrasonor. După obţinerea imaginii, aceasta este fixată pe hîrtie în modul obişnuit.

Metoda fotodifuziei este cea mai simplă dintre metodele directe de vizualizare a secţiunii transversale a cîmpului sonor şi a imaginilor obţinute prin ultrasunete. Ea asigură o putere de rezoluţie şi o sensibilitate suficientă (0,1—0,2 W/cm^2 pe frecvenţa de 2 MHz) şi nu necesită utilizarea unor materiale speciale. Timpul necesar pentru vizualizare variază între limitele 20—60 s. Ca materiale, se folosesc revelatorul şi hîrtia fotografică obişnuită.

9.2. APARATE CU ULTRASUNETE PENTRU DETERMINAREA CONSTANTELOR FIZICO-MECANICE ALE MATERIALELOR SOLIDE

Cu ajutorul aparatelor cu ultrasunete este posibil să se determine diferiţi parametri fizici ai materialelor solide. Principiul de funcţionare al aparatelor de acest fel se bazează pe măsurarea variaţiilor unor vibraţii ultrasonore întreţinute sau în formă de impulsuri, care trec prin materialele respective.

Variaţia parametrilor vibraţiilor permite să se evalueze calitatea rezistenţei lor la uzură, proprietăţile elastice şi posibilităţile de exploatare ale materialelor în diferite stări ale acestora.

Instalaţia ПИК-5 (fig. 9.25) permite măsurarea vitezei impulsurilor de vibraţii ultrasonore, cu o eroare în măsurarea timpului care nu depăşeşte 10^{-7} s. Aparatul a fost realizat pe baza aparatului de încercat linii de cablu ИКЛ-4 asimilat de industrie.

Pentru utilizarea acestui aparat în cazul cercetărilor cu ultrasunete a fost realizat un adaptor special care conţine un preamplificator de linie cu două tuburi 6Ж1П (circuit normalizator care funcţionează cu două tuburi 6Ж1П) şi un tiratron ТГ-1—0,1/1,3.

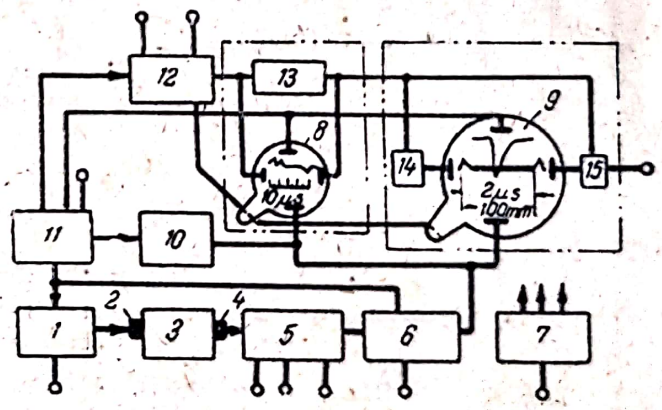


Fig. 9.25. Schema-bloc a instalaţiei ПИК-5:
1 — generator de impulsuri de sondare; *2* — traductor-emiţător; *3* — epruvetă; *4* — traductor-receptor; *5* — bloc de preamplificare RAA; *6* — amplificator final şi circuit normalizator; *7* — bloc de alimentare; *8* — tub catodic indicator 8Л029; *9* — tub catodic indicator 13Л037; *10* — blocul reperelor de scară; *11* — blocul impulsurilor de comandă; *12* — blocul baleiajului întîrziat; *13* — amplificator de baleiaj; *14* — amplificatorul *1*; *15* — amplificatorul *2*.

Pentru transformarea semnalelor electrice în vibraţii mecanice de frecvenţă ultrasonoră, în aparat s-a folosit un traductor piezoelectric confecţionat din sare Seignette. Pentru recepţionarea vibraţiilor ultrasonore s-a folosit tot un cristal de sare Seignette, care transformă undele mecanice în semnale electrice. Introducerea dispozitivului de normalizare a permis efectuarea citirii cu o precizie mai mare, deoarece impulsul amplificat cu frontul neclar este transformat într-un impuls normalizat cu frontul anterior abrupt.

Scanned with OKEN Scanner

Pentru a face posibilă o citire mai exactă, se utilizează un al doilea ecran, al unui oscilograf ЭО-7.

Ca rezultat al combinării acestor două indicatoare oscilografice, 8ЛО29 cu ecranul de 75 mm și 13ЛО37 cu ecranul de 137 mm, reperele de timp de 2 μs se extind pe o mare distanță și permit să se evalueze timpul de propagare a ultrasunetelor cu o eroare de cel mult 0,4 μs. Aparatul considerat permite măsurarea vitezei de propagare a ultrasunetelor în diferite materiale solide.

Deoarece viteza de propagare a undelor ultrasonore depinde în esență de proprietățile elastice ale materialului (de exemplu beton) și de densitatea acestuia, în cazul unei compoziții uniforme cu ajutorul aparatului cu ultrasunete ПИК-5 se poate controla calitatea betonului pe baza unor epruvete etalonate anterior.

Acest aparat poate fi folosit și pentru determinarea proprietăților fizico-mecanice ale asfaltului, ceramicei și altor materiale.

Aparatul ИСУ-1. În fig. 9.26 este reprezentată schema-bloc, iar în fig. 9.27 — schema de principiu a aparatului ИСУ-1, folosit pentru determinarea rezistenței mecanice a blocurilor de silicați măsurînd viteza undelor ultrasonore care trec prin material. Aparatul este construit pe baza unui aparat de încercat linii de cablu. Eroarea de măsurare a timpului cu aparatul ИСУ-1 este egală cu 1 μs.

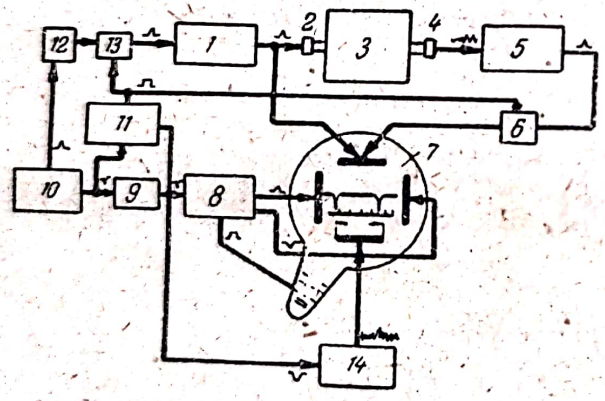


Fig. 9.26. Schema-bloc a aparatului ИСУ-1 (frecvența impulsurilor de sincronizare este de 500 Hz):

1 — generator de impulsuri de sondare; *2* — traductor-emițător; *3* — epruveta studiată; *4* — traductor-receptor de ultrasunete; *5* — amplificator; *6* — „poarta *II*"; *7* — tub catodic; *8* — generator de baleiaj în dinți de ferăstrău; *9* — întîrzierea examinării; *10* — sincronizator; *11* — comutator pentru spot; *12* — întîrziere de 5 μs; *13* — „poarta *I*"; *14* — generator de repere de timp.

Aparatul cu ultrasunete ФН-2 (fig. 9.28) servește la măsurarea vitezei ultrasunetelor în piele, cauciuc, materiale plastice și macromoleculare. Cu ajutorul acestui aparat se pot determina unele proprietăți fizico-mecanice ale materialelor enumerate mai sus. Așa, de pildă, se poate măsura gradul de tăbăcire, rezistența la rupere, proprietățile fizico-mecanice și alungirea remanentă a pielii, gradul de impregnare a diverselor materiale, gradul de vulcanizare a cauciucului etc.

Aparatul se compune din două părți principale: blocul electronic și sonda în care se introduce epruveta supusă încercării. Sonda (fig. 9.29) este construită în așa fel, încît cu ajutorul ei se pot face măsurări în diferite locuri de pe suprafața unor materiale plane. Ea se compune dintr-o scoabă în formă de arc, pe partea superioară a căreia este fixat un pahar de oțel. În interiorul acestui pahar se deplasează, pe direcția verticală, un traductor-emițător. La

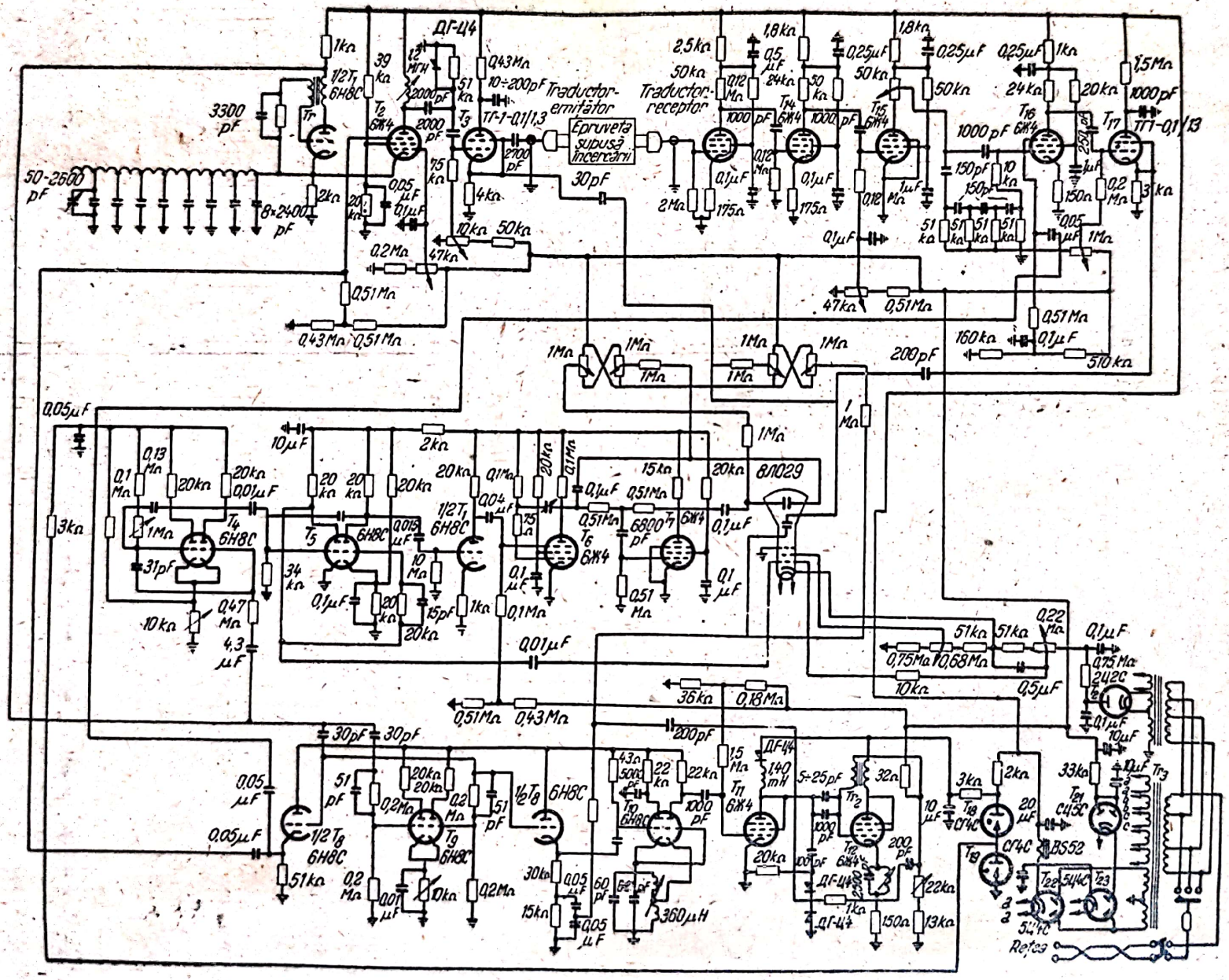


Fig. 9.27. Schema de principiu a aparatului ИСУ-1.

partea inferioară a scoabei este fixat rigid traductorul-receptor. Pentru asigurarea unei poziţii stabile a sondei s-au prevăzut două suporturi curbate. Drept traductor-emiţător se utilizează o plăcuţă de titanat de bariu polarizată. Aceasta este lipită cu clei pe o bază de textolit, cuplată cu carcasa vibratorului. La

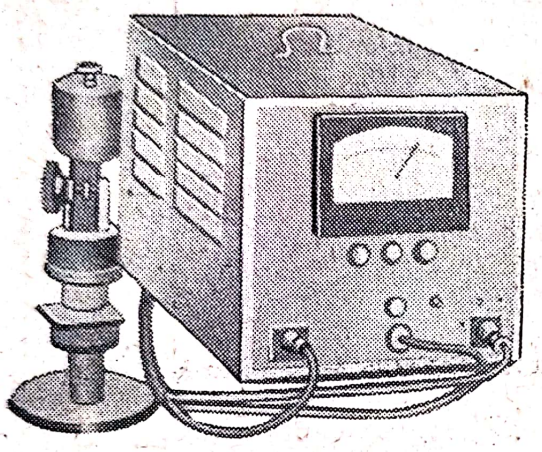


Fig. 9.28. Aparat ФН-2 pentru determinarea constantelor fizico-mecanice.

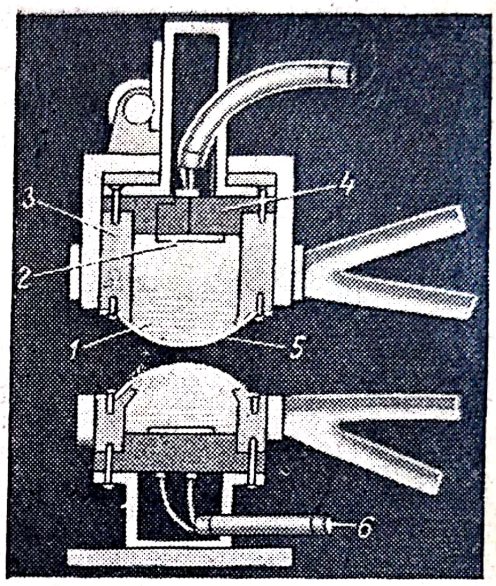


Fig. 9.29. Construcţia sondelor.

capătul carcasei este montată o membrană de cauciuc, prinsă într-un inel. Spaţiul dintre plăcuţa de titanat de bariu şi membrana de cauciuc este umplut cu ulei de ricin. Partea principală a traductorului-receptor este o plăcuţă de sare Seignette. Din punct de vedere constructiv, traductorul-receptor este realizat la fel cu cel emiţător. Prin intermediul unui cablu coaxial, traductorul emiţător şi cel receptor sînt conectate la blocul electronic al aparatului, a cărui schemă este arătată în fig. 9.30. Schema aparatului a fost alcătuită în aşa fel, încît intensitatea curentului care circulă prin microampermetru să depindă numai de durata impulsului, adică să fie proporţională cu timpul de trecere a impulsului prin epruvetă, timp care depinde de viteza de propagare a ultrasunetelor prin epruvetă şi de grosimea acestei epruvete.

Pentru a se exclude influenţa diferenţelor de grosime ale epruvetelor, s-a prevăzut un dispozitiv de corecţie montat pe sondă. Acesta se compune (v. fig. 9.28) dintr-o cremalieră cuplată rigid cu traductorul emiţător, care poate fi deplasată împreună cu acesta pe o distanţă egală cu grosimea materialului. Cu ajutorul unei rotiţe dinţate, mişcarea cremalierei este transmisă unui potenţiometru şi, ca urmare, variază valoarea rezistenţei de corecţie. Pentru o precizie mai mare, rotiţa dinţată este cuplată rigid cu axul potenţiometrului, iar angrenarea ei cu cremaliera este potrivită în aşa fel, încît să nu existe joc. Potenţiometrul este conectat în una dintre ramurile circuitului în punte al aparatului şi rezistenţa lui este astfel aleasă, încît să se modifice — în funcţie de deplasarea cremalierei — intensitatea curentului care circulă prin

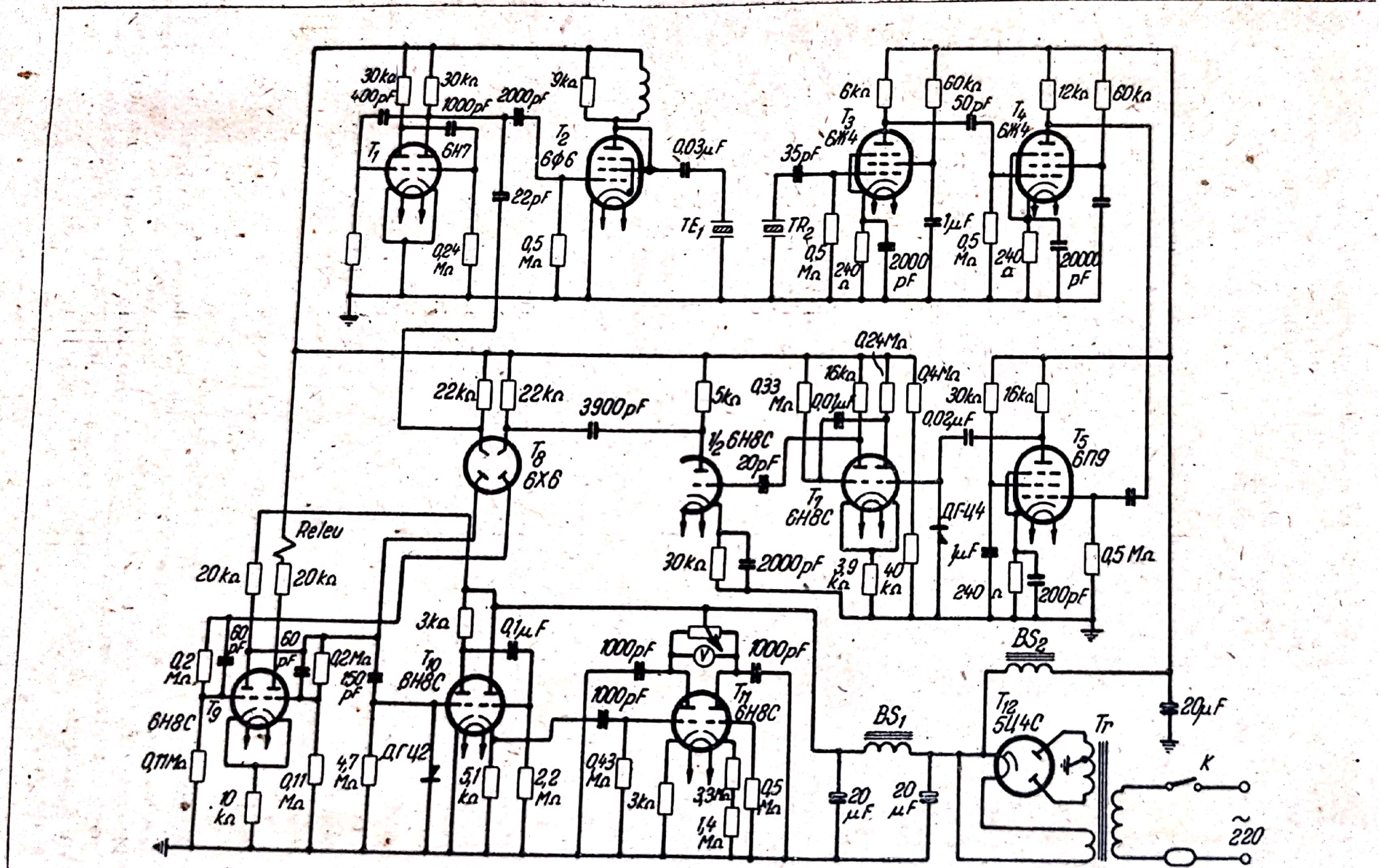


Fig. 9.30. Schema de prinicipiu a aparatului ФЧ-2.

Scanned with OKEN Scanner

microampermetru şi anume cu o cantitate proporţională cu grosimea epruvetei. Deci, microampermetrul indică valoarea curentului, care caracterizează numai viteza de propagare a ultrasunetelor prin epruvetă. Găsind pe cale experimentală dependenţa vitezei de propagare a ultrasunetelor printr-un material oarecare de proprietăţile fizico-mecanice ale acestuia, se etalonează microampermetrul în unităţile tehnice dorite.

Aparat pentru măsurarea parametrilor dinamici ai cauciucului şi materialelor asemănătoare cu cauciucul (fig. 9.31). Acest aparat permite măsurarea parametrilor mecanici ai cauciucului, modulul de forfecare şi coeficientul de pierderi prin forfecare (tangenta unghiului de pierderi mecanice) — în gama de frecvenţe cuprinsă între 5 şi 50 kHz.

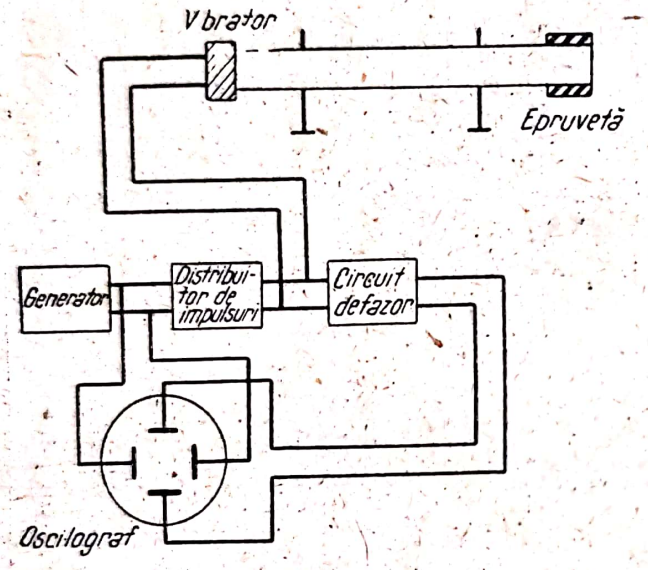


Fig. 9.31. Schema-bloc a unei instalaţii pentru măsurarea parametrilor dinamici ai cauciucului şi ai materialelor asemănătoare cu cauciucul.

Piesa mecanică principală a instalaţiei este un tub de duraluminiu cu lungimea de 2—3 m şi grosimea pereţilor de 2 mm. Pe un capăt al tubului este fixat traductorul (o plăcuţă de sare Seignette într-o carcasă de plexiglas), care transmite în pereţii tubului impulsuri acustice cu o anumită frecvenţă de repetiţie.

În pauzele dintre impulsuri traductorul serveşte drept receptor al impulsurilor reflectate de capătul opus al tubului, pe care este lipită, sub forma unui inel, epruveta de cauciuc supusă încercării. Măsurînd amplitudinea şi faza impulsului reflectat, în prezenţa epruvetei şi în absenţa acesteia, se poate determina valoarea coeficientului de reflexie complex, care constituie mărimea de plecare pentru determinarea impedanţei mecanice de intrare a epruvetei, iar după aceea şi valorile necesare ale modulului de forfecare şi coeficientului de pierderi prin forfecare.

CAPITOLUL 10

APARATE CU ULTRASUNETE PENTRU SUPRAVEGHERE, CONTROL ŞI MĂSURĂRI ÎN LICHIDE

10.1. GENERALITĂŢI

Aparatele cu ultrasunete destinate supravegherii, controlului şi măsurării diverselor procese tehnologice care au loc în lichide, îşi găsesc în ultimul timp aplicaţii din ce în ce mai numeroase în industrie. Ele sînt utilizate pentru efectuarea unor cercetări fizico-chimice în mediul lichid şi se bazează pe principiul determinării valorilor vitezei şi absorbţiei sunetelor în mediul controlat.

Scanned with OKEN Scanner

Cercetările pot fi făcute direct în curentul de lichid care se deplasează, fapt care permite folosirea acestor aparate pentru automatizarea proceselor tehnologice care au loc în lichide cu diferiți parametri fizico-chimici.

Aparatele destinate controlului și măsurării parametrilor tehnologici pot fi împărțite — în funcție de principiul de aplicare — în două categorii: aparate cu citirea valorilor absolute, respectiv relative ale vitezei și obsorbției sunetelor în mediul controlat. Aparatele cu citire absolută sînt utilizate pentru o gamă largă de valori ale vitezelor și absorbției ultrasunetelor la diferite frecvențe.

Aparatele cu citire relativă (aparate indicatoare) arată variația mărimii măsurate față de o valoare dată. Ele au o viteză de lucru suficient de mare și permit urmărirea desfășurării dinamice a procesului. În aparatele pentru măsurarea vitezei și absorbției sunetelor se utilizează vibrații ultrasonore întreținute sau în formă de impulsuri, măsurările în regim de impulsuri fiind cele mai răspîndite. Principiul de funcționare al aparatelor menționate mai sus este ilustrat în fig. 10.1, *a*. Într-un recipient cu substanța studiată *1* (gaz sau lichid) sînt amplasate traductorul-emițător *3* și traductorul-receptor de ultrasunete *4*. Pentru excitarea unor vibrații ultrasonore amortizate, traductorul-emițător este alimentat de generatorul de impulsuri *2*. După trecerea prin substanța cercetată vibrațiile sînt recepționate de traductorul-receptor *4*. Cunoscînd distanța dintre traductorul emițător și cel receptor și măsurînd timpul în decursul căruia impulsul parcurge această distanță, se poate determina viteza ultrasunetelor. Dacă viteza ultrasunetelor în mediul respectiv se mărește, impulsurile vor ajunge mai repede în traductorul receptor; în cazul micșorării vitezei, ele vor întîrzia. Aceste variații ale vitezei ultrasunetelor vor fi observate datorită

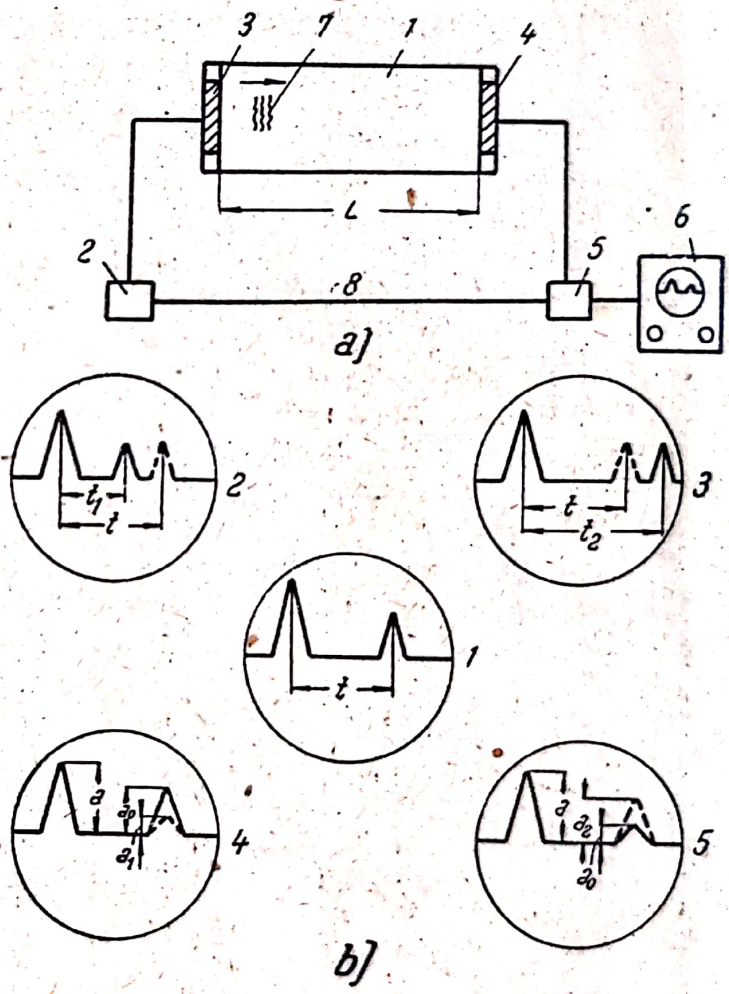


Fig. 10.1. Principiul metodei de măsurare cu impulsuri a vitezei și absorbției ultrasunetelor:
a — schema: *1* — recipient; *2* — generator de impulsuri electrice de frecvență ultrasonoră; *3* — traductor-emițător; *4* — traductor-receptor; *5* — amplificator; *6* — oscilograf electronic; *7* — impuls de vibrații ultrasonore; *8* — conductor de transmitere a impulsului de control; *b* — aspectul imaginii de pe ecranul oscilografului electronic (în stînga, impulsul de control a cărui amplitudine este constantă; în dreapta — impulsul care a trecut prin mediul studiat); *1* — poziția inițială; *2* — viteza s-a mărit, impulsul a ajuns mai curînd; *3* — viteza s-a micșorat, impulsul a întîrziat; *4* — absorbția s-a micșorat, amplitudinea impulsului s-a mărit; *5* — absorbția s-a mărit, amplitudinea impulsului s-a micșorat.

deplasării impulsului pe ecranul oscilografului faţă de poziţia lui iniţială şi pot fi măsurate cu precizia necesară (fig. 10.1, *b*, poziţia 2 şi 3). Absorbţia sunetelor care au trecut prin mediul studiat se manifestă prin variaţa amplitudinii semnalului recepţionat. Dacă absorbţia se intensifică, amplitudinea impulsului se micşorează, iar dacă absorbţia scade, amplitudinea impulsului se măreşte. Aceste variaţii ale amplitudinii în raport cu impulsul de control a cărui amplitudine este constantă, constituie o măsură a amortizării sunetelor în mediul respectiv (fig. 10.1, *b*, poziţia *4* şi 5).

În cele ce urmează se vor descrie cîteva aparate tipice destinate controlului, măsurării şi supravegherii în medii lichide.

10.2. APARATE CU ULTRASUNETE PENTRU CONTROLUL PROCESELOR FIZICO-CHIMICE

Aparatele cu ultrasunete de tip УЗИС[1]) servesc la analizarea şi controlul rapid al proceselor fizico-chimice în laboratoare şi în condiţii industriale. Ele pot fi folosite pentru a se determina, de pildă, concentraţia amestecurilor binare, densitatea şi compresibilitatea soluţiilor, gradul de polimerizare al polimerilor, existenţa în soluţii a unor impurităţi, viteza de desfăşurare a reacţiilor chimice şi o serie întreagă de alţi parametri ai mediilor lichide. Aparatele de tip УЗИС permit efectuarea controlului neîntrerupt al parametrilor enumeraţi mai sus, într-un curent de lichid şi în felul acesta redau evoluţia procesului sau reacţiei cercetate. Controlul parametrilor se face prin măsurarea şi compararea vitezei de propagare a vibraţiilor ultrasonore în mediul lichid studiat şi într-unul etalon, prin metoda impulsurilor.

În aparatele УЗИС măsurarea vitezei ultrasunetelor se face în funcţie de valoarea decalării impulsului pe ecranul tubului catodic în raport cu o tensiune de etalonare de înaltă frecvenţă. Valoarea absolută a vitezei ultrasunetelor este determinată prin compararea cu un etalon, sau direct, în cazul cînd s-a etalonat exact întîrzierea impulsului şi s-a măsurat cu precizie lungimea drumului de propagare a ultrasunetelor.

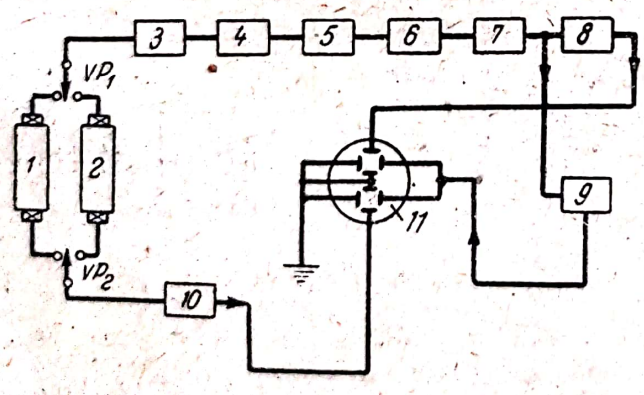


Fig. 10.2. Schema-bloc a aparatului УЗИС-5 pentru măsurarea vitezei sunetului.

Aparatul УЗИС-5 are schema-bloc reprezentată în fig. 10.2. De la generatorul de oscilaţii sinusoidale 5 tensiunea cu frecvenţa de 1 000 Hz este aplicată amplificatorului-limitator *4*, care formează impulsuri dreptunghiulare; acestea din urmă, după transformarea lor în impulsuri cu vîrf ascuţit comandă funcţionarea generatorului de impulsuri 3, realizat conform montajului cu excitaţie printr-un impuls de şoc. Generatorul alimentează vibratoarele piezoelectrice *VP1*. Vibratoarele piezoelectrice *VP2* sînt de fapt nişte traductoare-receptoare conectate la amplificatorul *10*. Ieşirea amplificatorului este

[1]) Realizate de *O. Babikov* şi colaboratorii lui.

Scanned with OKEN Scanner

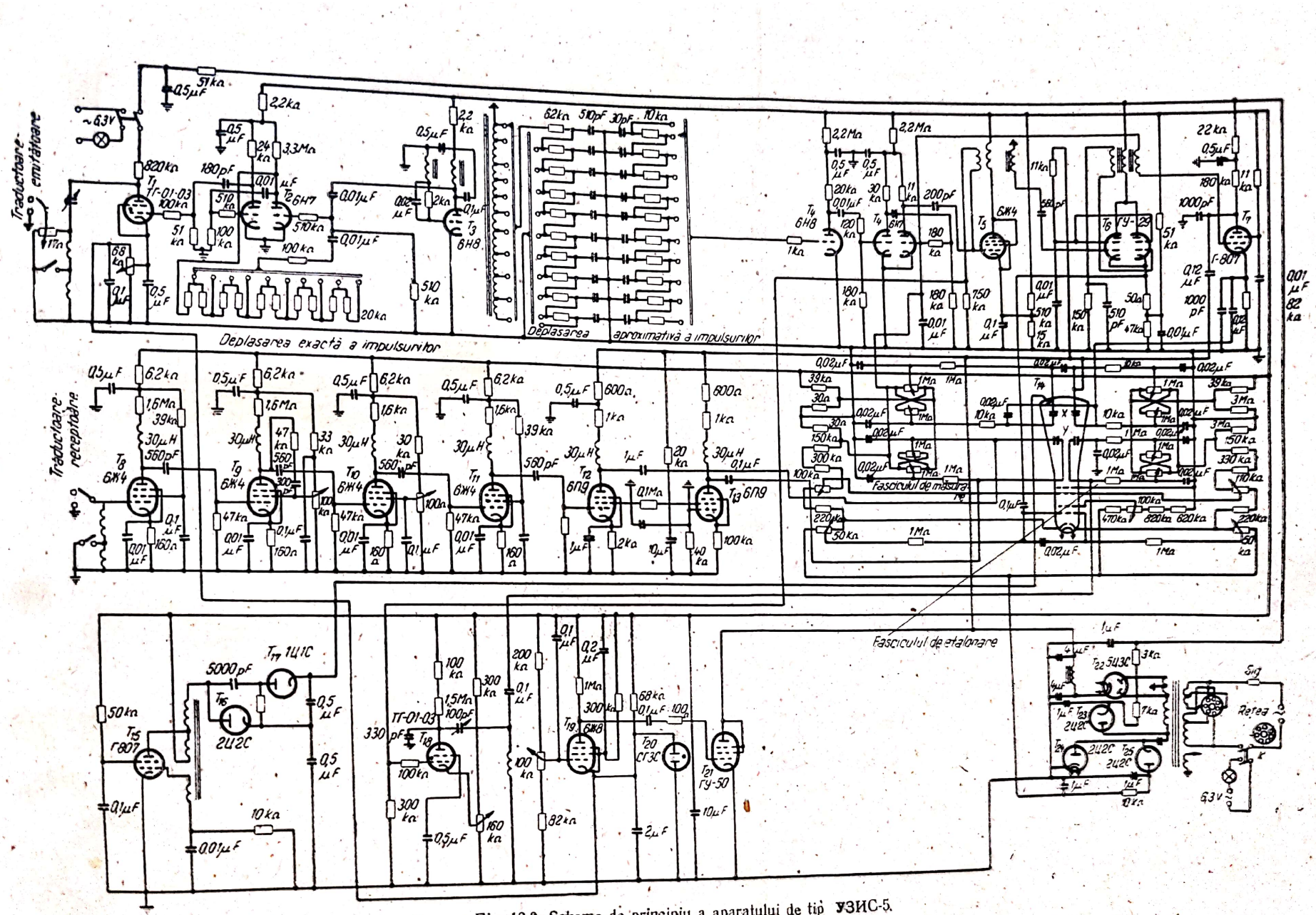


Fig. 10.3. Schema de principiu a aparatului de tip УЗИС-5

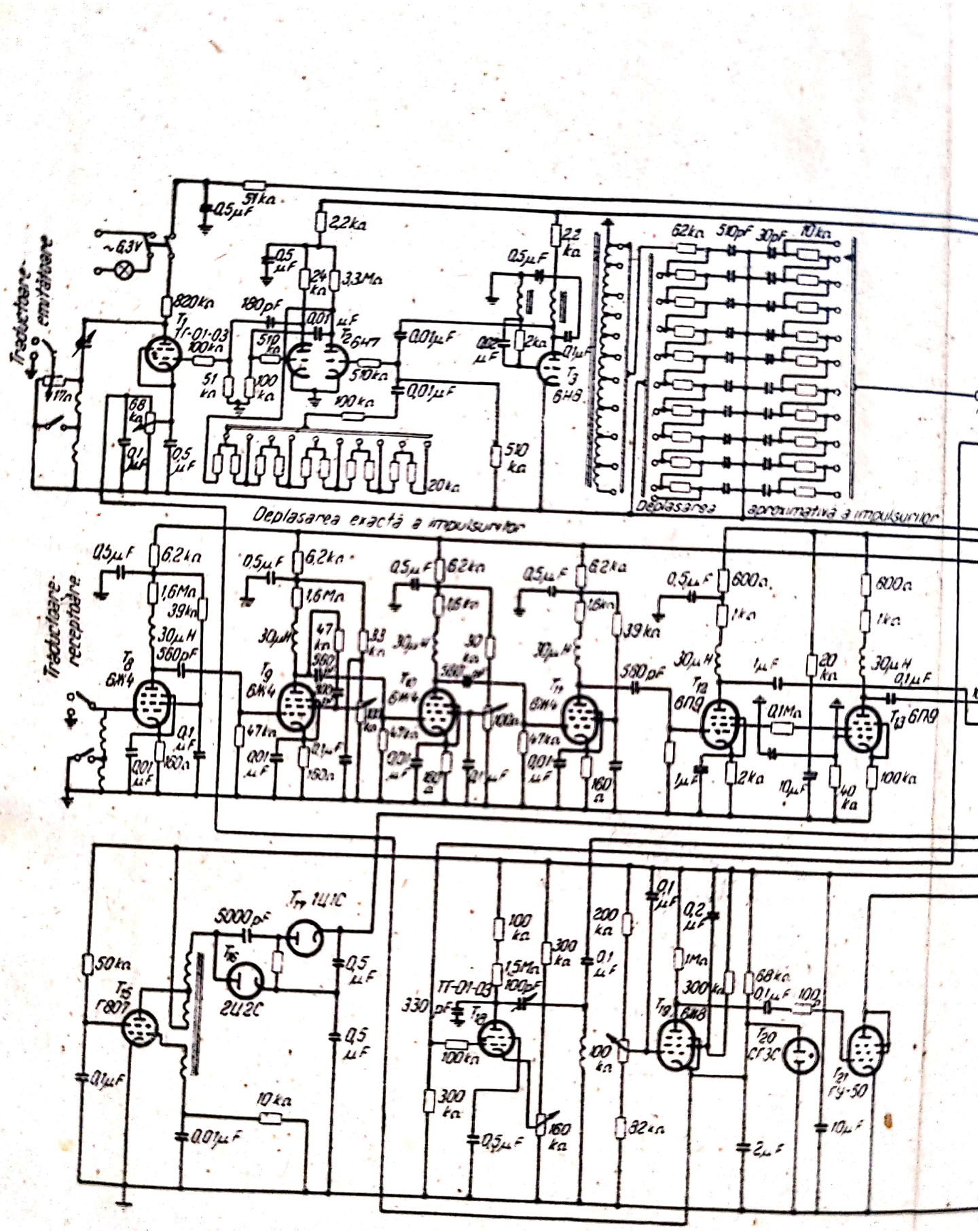
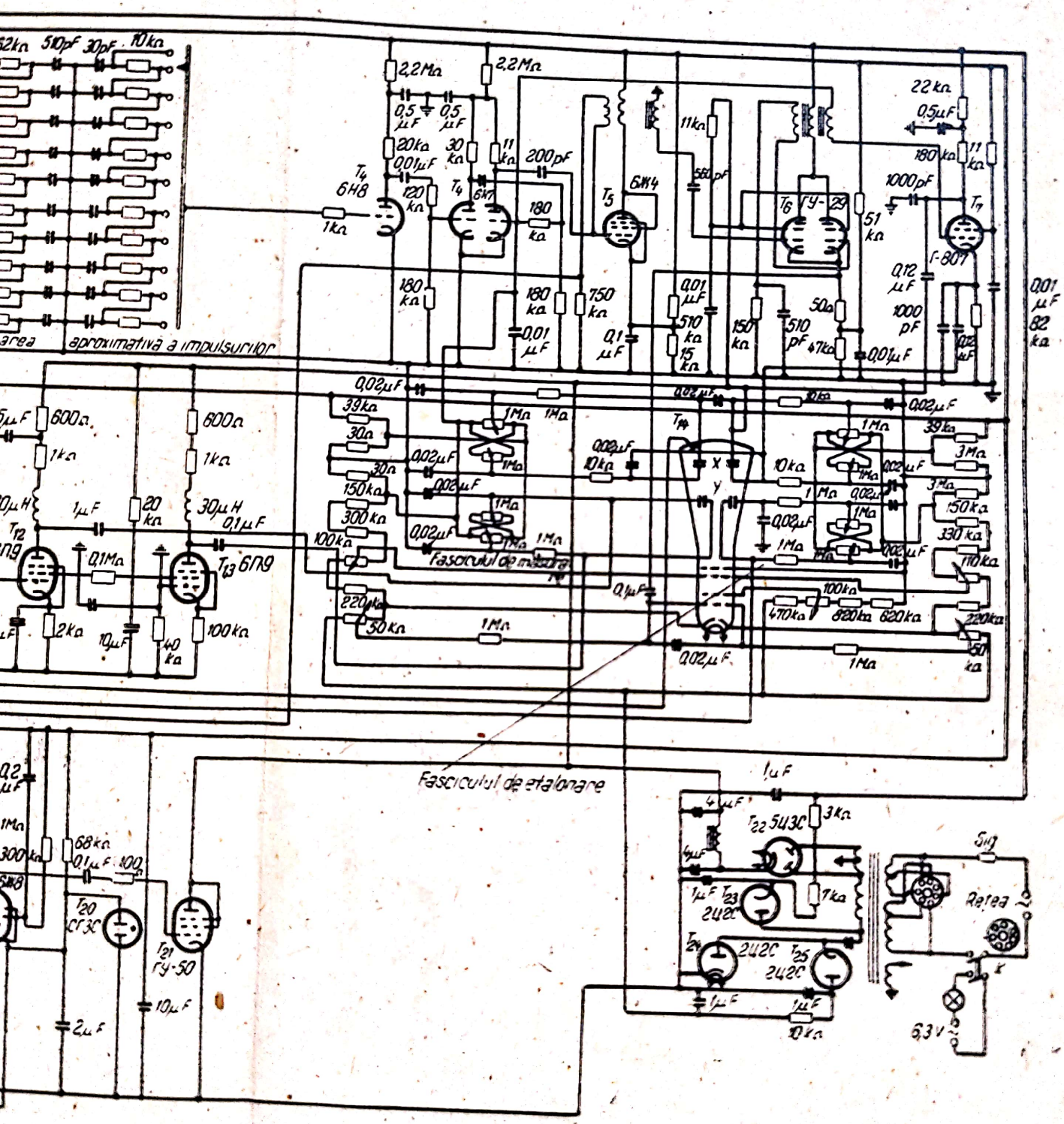


Fig. 10.3. Schema de principiu a aparatului de tip



a de principiu a aparatului de tip УЗИС-5.

Scanned with OKEN Scanner

legată la plăcile de deflecţie pe verticală ale tubului catodic *11*. De la generatorul de oscilaţii sinusoidale 5, tensiunea se aplică circuitului defazor *6*, care serveşte la decalarea impulsului care comandă generatorul de baleiaj. Această tensiune este transformată în impulsuri dreptunghiulare în etajul de formare 7, şi apoi efectuează pornirea generatorului de baleiaj *9* şi a generatorului *8*, care produce tensiunea de etalonare. În aparatul УЗИС-5 s-a folosit un tub catodic cu două spoturi. La plăcile *X* ale ambelor sisteme de deflecţie ale tubului se aplică tensiunea de baleiaj declanşat, iar uneia dintre plăcile *Y* ale unuia dintre sistemele de deflecţie i se aplică impulsul care a trecut prin lichidul studiat. La cealaltă placă *Y* se aplică tensiunea de etalonare (o sinusoidă de frecvenţă cunoscută). Măsurarea se face prin metoda comparării impulsurilor care au trecut prin recipientul *1* care conţine lichidul etalon şi prin recipientul 2 în care se găseşte lichidul supus măsurării. În funcţie de deplasarea impulsului pe ecranul tubului, cu ajutorul tensiunii de etalonare se determină viteza ultrasunetelor în lichidul studiat. Schema de principiu a aparatului УЗИС-5 este reprezentată în fig. 10.3. În esenţă, aparatul este realizat cu tuburi din seria subminiatură. Pentru asigurarea măsurării întregii game de viteze ale ultrasunetelor în mediile lichide, de la 900 pînă la 2 000 m/s, aparatul a fost înzestrat cu un circuit de întîrziere a declanşării baleiajului în intervalul 1—1 000 μ s, din microsecundă în microsecundă. Frecvenţa impulsurilor produse de generatorul de înaltă frecvenţă este de 1—5 kHz. Frecvenţa generatorului de etalonare este de 10—15 KHz. Drept generator de sincronizare, în aparat se utilizează oscilatorul sinusoidal T_3; generatorul de impulsuri dreptunghiulare este un multivibrator. Generatorul de baleiaj este realizat cu tubul T_6. Tuburile T_8, T_9, T_{10}, T_{11} constituie un amplificator de bandă largă; T_7 este generatorul de etalonare. Alimentarea anozilor tuburilor din generatorul de sincronizare şi din amplificator se face de la un stabilizator electronic de tensiune, care conţine tuburile T_{15}, T_{16}, T_{17}, T_{18}.

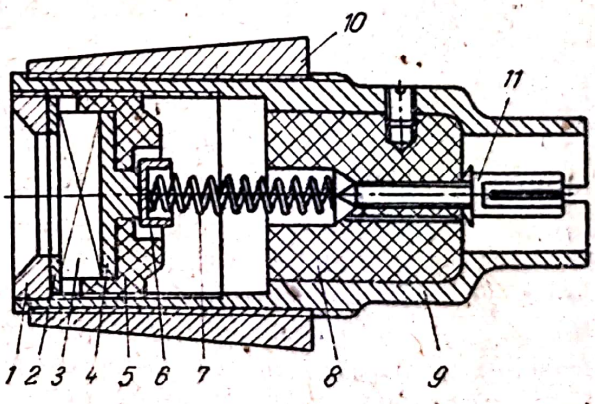


Fig. 10.4. Construcţia sondei folosite împreună cu aparatele de tip УЗИС, pentru mediu lichid.

Construcţia sondei aparatelor de tip УЗИС, care serveşte la emiterea şi recepţia vibraţiilor ultrasonore în mediul lichid, este arătată în fig. 10.4. Plăcuţa piezoelectrică *3*, care poate fi confecţionată din cuarţ, titanat de bariu sau poate fi un vibrator complex de cuarţ, este prinsă între şaiba *2* şi contactul *4*. Acesta din urmă prin intermediul ceşcuţei *6*, este apăsat pe placa piezoelectrică cu ajutorul resortului 7. Un conductor flexibil face legătura între ceşcuţă şi şurubul de contact 11, fixat la locul de îmbinare a ştuţului cu cablul care merge la aparat. În partea dinspre mediul studiat, spre care este îndreptată în permanenţă una dintre armăturile plăcuţei piezoelectrice, şaiba *2* este fixată cu bucşa conică *1*, care realizează în acelaşi timp contactul (împreună cu şaiba 2) dintre armătura exterioară a plăcuţei

piezoelectrice şi carcasa 9 a sondei. Carcasa sondei este înşurubată în conul 10, care se fixează în recipientul de măsurare.

Aparatul УЗИС-6 oferă posibilitatea de a se măsura şi compara vitezele de propagare a vibraţiilor ultrasonore între limitele 850—2 000 m/s.

Puterea de rezoluţie a aparatului în ce priveşte viteza, adică în ce priveşte acea variaţie relativă minimă, care poate fi înregistrată cu siguranţă, nu depăşeşte 0,05%. În cazul unei baze cu lungimea de 0,5 m, această putere separatoare corespunde la 0,5—1 m/s. Deoarece la majoritatea lichidelor viteza de propagare a ultrasunetelor depinde de temperatură, este necesar sau să se termostateze lichidul studiat şi cel etalon, sau să se înregistreze temperatura din ele cu o eroare de cel mult 0,1°C. Dacă lichidul etalon are un gradient al vitezei cu temperatura identic cu acela al lichidului studiat, nu mai este necesar să se recurgă la termostatare. Durata unei măsurări nu depăşeşte 30 s.

Aparatul УЗИС-6 este un aparat cu citire relativă, adică în funcţie de valoarea decalării impulsului pe ecranul tubului se măsoară variaţia relativă a vitezei ultrasunetelor. Valoarea absolută se determină prin compararea cu eta-

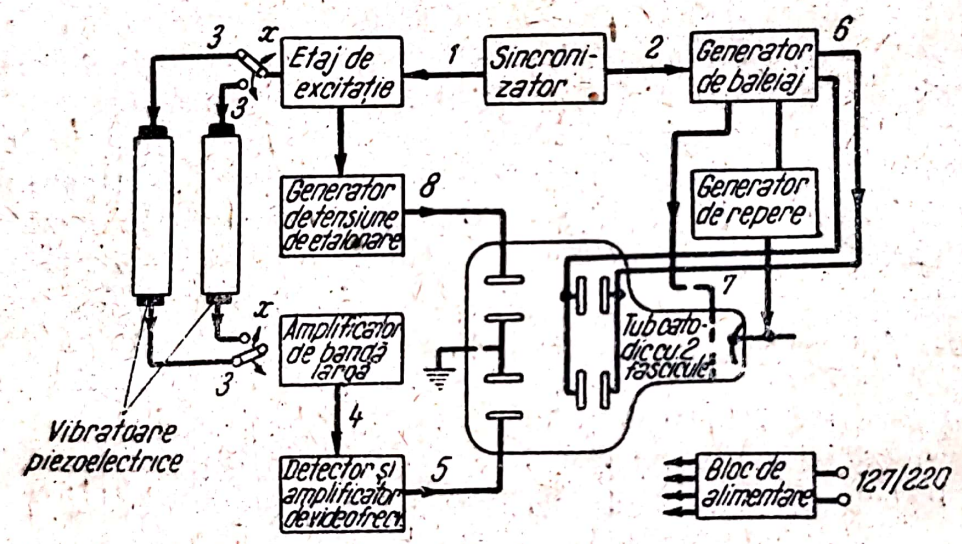


Fig. 10.5. Schema-bloc a aparatului УЗИС-6.

lonul, care este un lichid la care viteza de propagare a ultrasunetelor este cunoscută cu suficientă precizie. Traductorul de laborator (cuvă) are un vibrator piezoelectric mobil, datorită căruia se poate modifica lungimea drumului parcurs de impulsurile ultrasonore în mediul studiat. În acest caz, valoarea absolută a vitezei de propagare a ultrasunetelor poate fi măsurată fără a se folosi un lichid etalon, cu o eroare de cel mult 1%. Schema-bloc a aparatului este reprezentată în fig. 10.5. Poziţia în timp a impulsurilor din diferitele subansambluri ale schemei-bloc sînt reprezentate în fig. 10.6. Sincronizatorul produce impulsurile de declanşare negative *1* pentru pornirea etajului de excitaţie şi *2* pentru pornirea generatorului de baleiaj. În momentul sosirii impulsului de declanşare *1*, etajul de excitaţie excită vibratorul piezoelectric de emisie cu un impuls electric de durată scurtă *3*. Vibratorul piezoelectric va transmite în mediul studiat un impuls ultrasonor scurt.

După un anumit timp (timpul de parcurgere t_{par}), impulsul ultrasonor ajunge la vibratorul piezoelectric receptor. Acesta îl transformă într-un semnal electric care este amplificat de amplificatorul de bandă largă *4*, este detectat

şi apoi din nou amplificat de amplificatorul de videofrecvenţă şi ajunge, apoi, la plăcile de deflecţie pe verticală ale unuia dintre sistemele de deflecţie ale tubului catodic. Citirea timpului de parcurgere t_{par} se face în funcţie de frontul anterior al impulsului 5. Generatorul de baleiaj este declanşat de impulsurile negative 2 de la sincronizator. Aceste impulsuri sînt întîrziate în timp (t_{int}) în raport cu impulsurile de declanşare a etajului de excitaţie 1. De aceea, începutul baleiajului este întîrziat cu acelaşi timp în raport cu momentul excitaţiei vibratorului piezoelectric de emisie, cînd acesta transmite un impuls ultrasonor în mediul studiat.

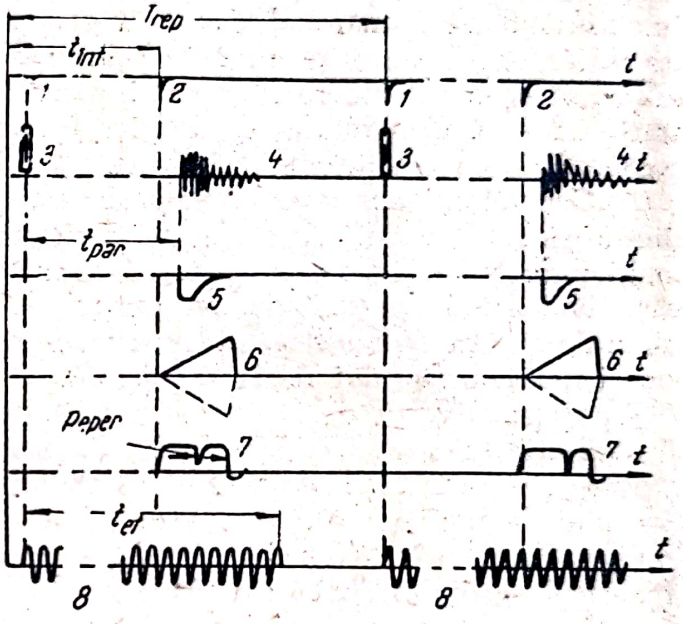


Fig. 10.6. Poziţia în timp a impulsurilor din diferite subansambluri ale schemei-bloc a aparatului УЗИС-6.

Valoarea întîrzierii se reglează fin şi în timpul măsurărilor ea este potrivită în aşa fel, încît baleiajul să înceapă imediat înaintea aplicării semnalului la intrarea amplificatorului de bandă largă. Acest lucru face posibil să se desfăşoare cu mare viteză, pe ecranul tubului catodic, un interval de timp relativ mic şi să se asigure o putere de rezoluţie mare a citirii intervalelor de timp. Generatorul de baleiaj produce tensiunea în dinţi de fierăstrău 6 (precum şi o tensiune egală şi de semn contar cu acesta) pentru deflecţia pe orizontală a ambelor fascicule ale tubului catodic, precum şi impulsul dreptunghiular pozitiv 7, pentru intensificarea spoturilor în timpul cursei directe a baleiajului. Pentru efectuarea unor măsurări relative, se conectează cu ajutorul unor comutatoare speciale intrarea şi ieşirea aparatului la traductoare piezoelectrice care funcţionează fie pentru lichidul studiat, fie pentru cel etalon. Aşadar, pe ecranul tubului catodic vor fi vizibile pe rînd cele două impulsuri de citire 5. Pentru a uşura citirea intervalului de timp cuprins între aceste impulsuri, este necesar să existe un reper de poziţie pe baleiajul de timp al unuia dintre impulsurile de citire, în timpul cît se observă celălalt. De aceea, în momentul cînd începe baleiajul, se declanşează un generator de repere care produce, într-un interval de timp care poate fi reglat fin, o întunecare de foarte scurtă durată a spoturilor tubului catodic, ceea ce constituie „reperul" 7. Acesta serveşte drept vizor electronic pentru fixarea pe ecran a poziţiei flancului anterior al unuia dintre impulsurile de citire. Pe plăcile de deflecţie verticală al celui de-al doilea fascicul al tubului se aplică o tensiune de forma unui tren de vibraţii sinusoidale 8 de frecvenţă cunoscută, care serveşte la producerea scării timpului pe ecran. Drept unitate pentru scara timpului se ia un sfert din perioada corespunzătoare frecvenţei de 2,5 MHz, adică 0,1 μs. Acest tren de oscilaţii este produs de generatorul de tensiune de etalonare în

momentul excitaţiei traductorului piezoelectric de emisie şi se sfîrşeşte după timpul t_{et}, care depăşeşte timpul maxim de întîrziere a începutului baleiajului. Acest fapt asigură observarea tensiunii de etalonare pe ecranul tubului catodic. Schema de principiu a aparatului УЗИС-6 este reprezentată în fig. 10.7. În aparatul УЗИС-6, drept generator de sincronizare se utilizează un multivibrator care produce impulsuri dreptunghiulare cu frecvenţa de 1 000 Hz şi cu timpul de creştere al frontului anterior de circa 0,1 μs. Aceste impulsuri, după formare, declanşează generatorul de impulsuri şi generatorul de baleiaj. Generatorul de impulsuri este realizat conform schemei de oscilator cu autoblocare; de la rezistenţa lui catodică se ia tensiunea de excitaţie a traductoarelor. Generatorul de baleiaj este realizat conform unui montaj de compensare, cu reacţie pozitivă puternică.

Generatorul tensiunii de etalonare este construit cu o dublă triodă; una dintre triodele acestui tub constituie oscilatorul propriu-zis, iar cealaltă — un multivibrator declanşat care şuntează circuitul acordat pînă în momentul aplicării impulsului de excitaţie. În momentul aplicării impulsului de excitaţie, tubul de şuntare se blochează pentru un interval de timp, determinat de parametrii multivibratorului declanşat. În decursul acestui interval de timp (circa 700 μs) generatorul de etalonare produce o tensiune care se aplică plăcilor de deflecţie pe verticală. Blocul de alimentare asigură alimentarea circuitelor anodice cu o tensiune de 250 V, stabilizată de un stabilizator electronic. Curentul de încălzire a filamentelor tuburilor principale este stabilizat de un baretor. În aparatul УЗИС-6 s-a folosit un tub catodic cu două spoturi, avînd diametrul ecranului de 18 cm. Aparatul УЗИС-6 este prevăzut cu dispozitive de măsurat de laborator şi industriale. Dispozitivul de măsurat de laborator (două cuve) este constituit de nişte vase cilindrice de sticlă cu diametrul de 50 mm şi cu lungimea de 300 sau 600 mm; la părţile frontale ale vaselor sînt montate două elemente speciale (sonde), pentru fixarea într-o parte a traductorului piezoelectric emiţător cu diametrul de 11,5 mm, iar în cealaltă parte — a traductorului piezoelectric receptor cu diametrul de 32 mm. Plăcuţele piezoelectrice sînt confecţionate din ceramică de titanat de bariu şi suprafeţele lor sînt acoperite cu argint pentru crearea contactului electric cu electrozii de semnal. În cuva pentru lichidele studiate, sonda care conţine traductorul piezoelectric emiţător este combinată, din punct de vedere constructiv, cu un cap micrometric.

Microtermometrul electric МЭТ are două dispozitive de măsurat, care sînt introduse în cuve prin nişte ştuţuri scurte speciale. Microtermometrul electric dă posibilitatea să se controleze temperatura cu o eroare de 0,1°C şi posedă o constantă de timp care nu depăşeşte 0,5 min, atunci cînd se foloseşte un aparat МЭТ-1. Dispozitivul de măsurare industrială a vitezei de propagare a ultrasunetelor, se montează în rezervorul care conţine lichidul studiat (sau controlat). Pentru micşorarea dimensiunilor transversale ale traductorului, calea de propagare a impulsurilor ultrasonore prin lichid urmează o traiectorie în unghi drept, produsă cu ajutorul a două reflectoare. Sondele care conţin traductorul piezoelectric receptor şi cel emiţător sînt reunite într-un singur bloc. În dispozitivul de măsurat există o cavitate ermetică în care se introduce lichidul etalon şi în care se amplasează, de asemenea, reflectoarele şi blocul de recepţie-emisie al canalului etalon.

Scanned with OKEN Scanner

Pentru încercările de laborator şi industriale dispozitivul de măsurat este amplasat într-un rezervor-container special, care cu ajutorul unor ţevi se pune în legătură cu orice autoclavă sau aparat industrial. În acest caz, prin container poate circula continuu lichidul studiat de la aparatul respectiv. Controlul concentraţiei, densităţii sau altor parametri ai lichidului poate fi efectuat direct în condiţii industriale.

Alimentarea aparatului se face de la reţeaua de curent alternativ cu tensiunea de 127 şi 220 V, la frecvenţa de 50 Hz. Puterea absorbită nu depăşeşte 250 VA.

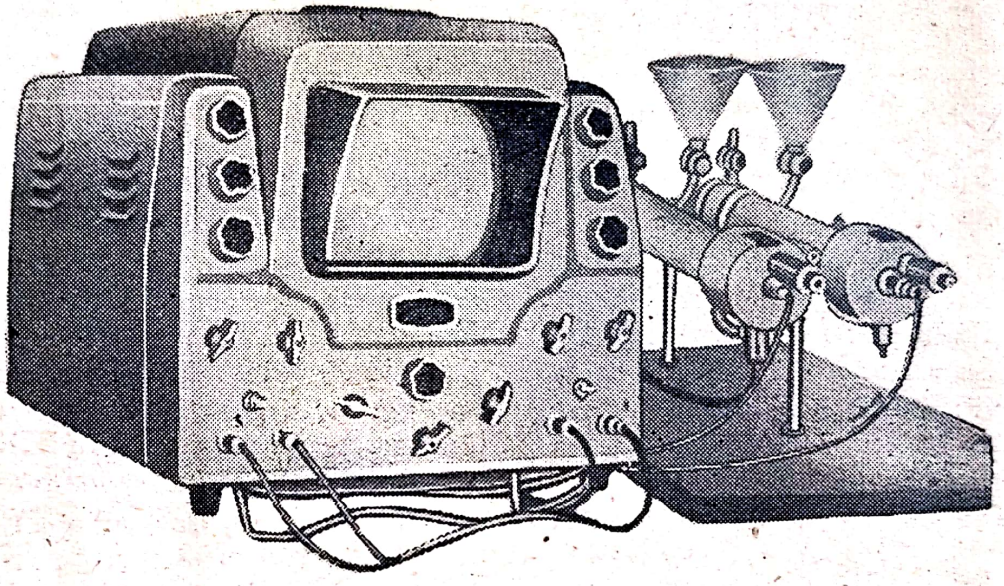


Fig. 10.8. Aspectul exterior al aparatului УЗИС-6.

Dimensiunile de gabarit ale aparatului sînt de 345×350×675 mm. Greutatea este de 30 kg. Aspectul exterior al aparatului УЗИС-6, cu dispozitiv de măsurat de laborator, este arătat în fig. 10.8.

Aparatul УЗИС-7П este un model mai perfecţionat de aparat de acest tip şi se deosebeşte numai prin caracteristicile tehnice. Aspectul exterioral aparatului УЗИС-7П este arătat în fig. 10.9.

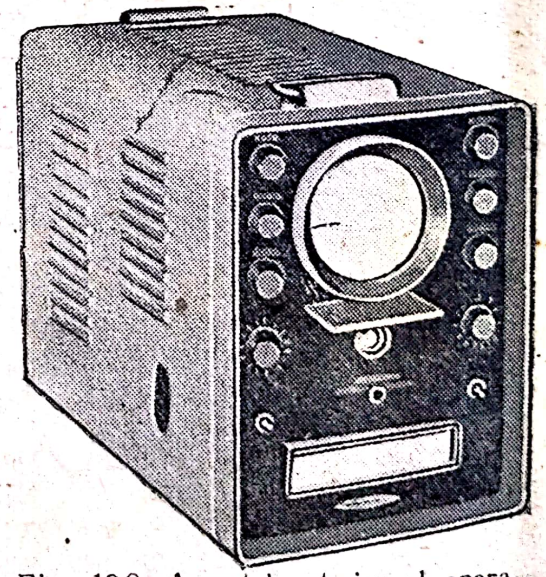


Fig. 10.9. Aspectul exterior al aparatului УЗИС-7П.

DATE TEHNICE

Gama vitezelor măsurate	850—2 000 m/s
Eroarea de măsurare a vitezei, cel mult	1 m/s
Puterea de rezoluţie a aparatului în ce priveşte măsurarea relativă a vitezei	0,05%
Gama temperaturilor măsurate	10—28°C
Eroarea de măsurare a temperaturii, cel mult	±0,2°C

Timpul de încălzire a aparatului după conectare, cel mult	15 min
Puterea absorbită de la rețea, cel mult	250 W
Dimensiunile de gabarit ale aparatului	305×415×584 mm
Greutatea aparatului (fără dispozitivul de măsurat) cel mult	30 kg

Aparatul ИС-3А poate fi folosit în condiții de laborator şi industriale. El dă posibilitatea să se măsoare şi să se compare vitezele de propagare a vibrațiilor ultrasonore, cuprinse între 800 şi 2 000 m/s. Aparatul este prevăzut cu două scări: o scară fină şi una brută. Precizia de măsurare pe scară fină este de $\pm 0{,}4\% \frac{\Delta C}{C}$, iar pe scara brută este de $\pm 1\% \frac{\Delta C}{C}$. Puterea de rezoluție a aparatului în ce privește variația relativă a vitezei este sub 0,05%. Întrucît, la majoritatea lichidelor, viteza ultrasunetelor depinde apreciabil de temperatură, este necesar ca aceasta din urmă să fie menținută constantă în timpul efectuării măsurărilor şi, dacă este posibil, trebuie să se recurgă la termostatare. Variațiile admisibile ale temparaturii nu trebuie să depăşească $\pm 0{,}1$°C.

Principiul de funcționare al aparatului se bazează pe compararea frecvențelor de autoexcitație a două amplificatoare cu reacție pozitivă. Schema-bloc a aparatului este reprezentată în fig. 10.10, iar schema de principiu — în fig. 10.11. Să examinăm funcționarea aparatului pe canalul *X*. Circuitul de reacție al amplificatorului canalului *X* se compune din două traductoare piezoelectrice separate de o coloană din lichidul studiat. Traductoarele piezoelectrice sînt confecționate din cuarț cu grosime de 2,2 mm şi au frecvența de rezonanță $f_{rez} = 1{,}5$ MHz. Un traductor piezoelectric este conectat la intrarea amplificatorului, iar celălalt la ieşire. Coloana de lichid care se găseşte între traductoarele piezoelectrice posedă proprietăți rezonante. Frecvențele de rezonanță ale unei asemenea coloane pot fi determinate din expresia

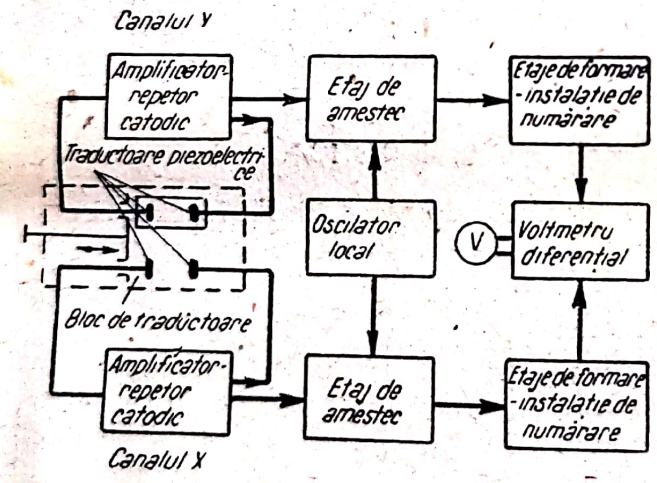


Fig. 10.10. Schema-bloc a aparatului ИС-3А.

$$f_0 = \frac{C}{\lambda} = \frac{C}{b/n} = n\frac{C}{b},$$

în care: f_0 este frecvența vibrațiilor ultrasonore;

C — viteza de propagare a vibrațiilor ultrasonore;

λ — lungimea de undă a vibrațiilor ultrasonore;

b — lungimea coloanei de lichid, adică distanța dintre traductoarele piezoelectrice;

n — numărul întreg de unde care încap pe lungimea coloanei de lichid.

Prin urmare, din expresia dată mai sus rezultă că pentru lungimea b a coloanei de lichid şi pentru viteza C de propagare a ultrasunetelor, coloana are n

frecvenţe de rezonanţă. Dacă se conectează o asemenea coloană de lichid între intrarea şi ieşirea unui amplificator a cărui bandă de trecere este suficient de largă, amplificatorul se va excita concomitent pe toate frecvenţele de rezonanţă cuprinse în banda lui de trecere (dacă amplificarea este suficient de mare). În acest caz, vor apărea oscilaţii de formă complicată, care nu sînt adecvate pentru măsurări. Frecvenţele de rezonanţă cele mai apropiate pot fi determinate din formula $\Delta f = f_1 - f_2 = C/b$, admiţînd că $n_1 = n_2 + 1$; $f_1 = n_1\, C/b$; $f_2 = n_2\, C/b$.

În consecinţă, conectînd la intrarea amplificatorului un filtru de bandă (L_5; C_{41}; L_6; C_{40}) cu banda de trecere $F \leqslant \pm \frac{\Delta f}{2}$, se poate asigura excitarea amplificatorului numai pe o singură frecvenţă aflată între limitele benzii de trecere F, frecvenţa fiind legată printr-o relaţie liniară de viteza de propagare a ultrasunetelor prin coloana de lichid. Pentru o funcţionare mai singură trebuie să se prefere, pe cît posibil, utilizarea unor coloane de lichid scurte, deoarece în acest caz se obţine o bandă de trecere suficient de mare a filtrului. Trebuie să se ţină seamă de faptul că indicaţiile aparatului se vor repeta în cazul măririi (sau micşorării) coloanei de lichid cu o distanţă care reprezintă un multiplu al lui λ.

De la ieşirea amplificatorului semnalul se aplică repetorului catodic $T12$, şi apoi detectorului prin circuitul *RAA*, care cuprinde ambele etaje ale amplificatorului şi măreşte stabilitatea de funcţionare a acestuia pentru diferitele lichide studiate. De la acelaşi repetor catodic semnalul se aplică şi etajului de amestec cu tubul $T13$. Etajului de amestec i se aplică, de asemenea, un semnal de frecvenţă constantă de la un oscilator local comun. La ieşirea etajului de amestec este conectat un filtru care lasă să treacă semnalul a cărui frecvenţă este egală cu diferenţa frecvenţelor semnalului şi oscilatorului local.

De la ieşirea filtrului, semnalul se aplică etajelor de formare $T14$, $T15$. În etajele de formare, acest semnal sinusoidal este transformat în impulsuri care se succed cu o frecvenţă de repetiţie egală cu frecvenţa semnalului sinusoidal. De la ieşirea etajelor de formare impulsurile se aplică circuitului de calcul $T16$, la ieşirea căruia se obţine o tensiune constantă U_1, proporţională cu frecvenţa oscilaţiilor care se amorsează în amplificator (mai exact cu frecvenţa $f'_c - f_l$);

$$U_i = k\,(f'_c - f_l),$$

unde k este un coeficient de proporţionalitate.

Al doilea canal funcţionează în mod analog. La ieşirea circuitului de calcul al acestui canal există tensiunea continuă U_2, proporţională cu frecvenţa oscilaţiilor care se amorsează în canalul respectiv (sau, mai exact, cu frecvenţa $f''_c - f_l$);

$$U_2 = k\,(f''_c - f_l).$$

Frecvenţa oscilatorului local este identică în ambele cazuri, deoarece oscilatorul local este comun. Tensiunile continue de la ieşirile circuitelor de calcul se aplică voltmetrului diferenţial $T9$, al cărui instrument indicator este un microampermetru cu ac indicator. Deoarece valorile lui U_1 şi U_2 sînt proporţionale cu vitezele ultrasunetelor în cuva X şi respectiv Y, etalonarea instrumentului cu ac indicator poate fi realizată direct în unităţi de măsură ale

Scanned with OKEN Scanner

raportului $\Delta C/C$. În schema aparatului s-a prevăzut posibilitatea deconectării dispozitivului de calcul al canalului X de la voltmetrul diferenţial; în acest caz instrumentul indicator al voltmetrului diferenţial va indica valoarea frecvenţei de diferenţă a canalului Y. Deoarece scara oscilatorului local este etalonată în frecvenţă, în funcţie de indicaţiile instrumentului indicator, frecvenţa oscilaţiilor care se amorsează în canalul Y poate fi stabilită riguros. În cazul cînd la voltmetrul diferenţial se conectează circuitul de calcul al canalului X, instrumentul indicator va arăta diferenţa dintre U_1 şi U_2. Dacă lichidele din ambele canale sînt identice, acul instrumentului indicator se va găsi la zero ($U_1—U_2=0$). Cînd frecvenţa creşte în canalul X, instrumentul indicator va indica valoarea raportului $\Delta C/C$, în procente. În consecinţă, dacă concentraţia soluţiei din canalul X va varia, iar acest lucru — la rîndul lui — va provoca variaţia vitezei de propagare a vibraţiilor ultrasonore, ca rezultat se va modifica frecvenţa oscilaţiilor care se amorsează în amplificatorul canalului respectiv şi instrumentul cu ac indicator va arăta în ce măsură a variat raportul $\Delta C/C$ faţă de lichidul din canalul Y, ai cărui parametri sînt constanţi.

Blocul de alimentare asigură alimentarea circuitelor de filament şi celor anodice. Pentru a se micşora influenţa variaţiilor tensiunii reţelei de alimentare asupra stabilităţii funcţionării aparatului, tensiunea de alimentare a circuitelor anodice (+250 V) este stabilizată cu ajutorul unui stabilizator electronic; pentru stabilizarea tensiunii —150 V se utilizează un tub stablizator cu descărcări în gaze. Alimentarea aparatului se face de la reţeaua de curent alternativ cu tensiunea de 220 V şi frecvenţa de 50 Hz. Puterea absorbită este de 160 W. Aspectul exterior al aparatului ИС-3А este arătat în fig. 10.12.

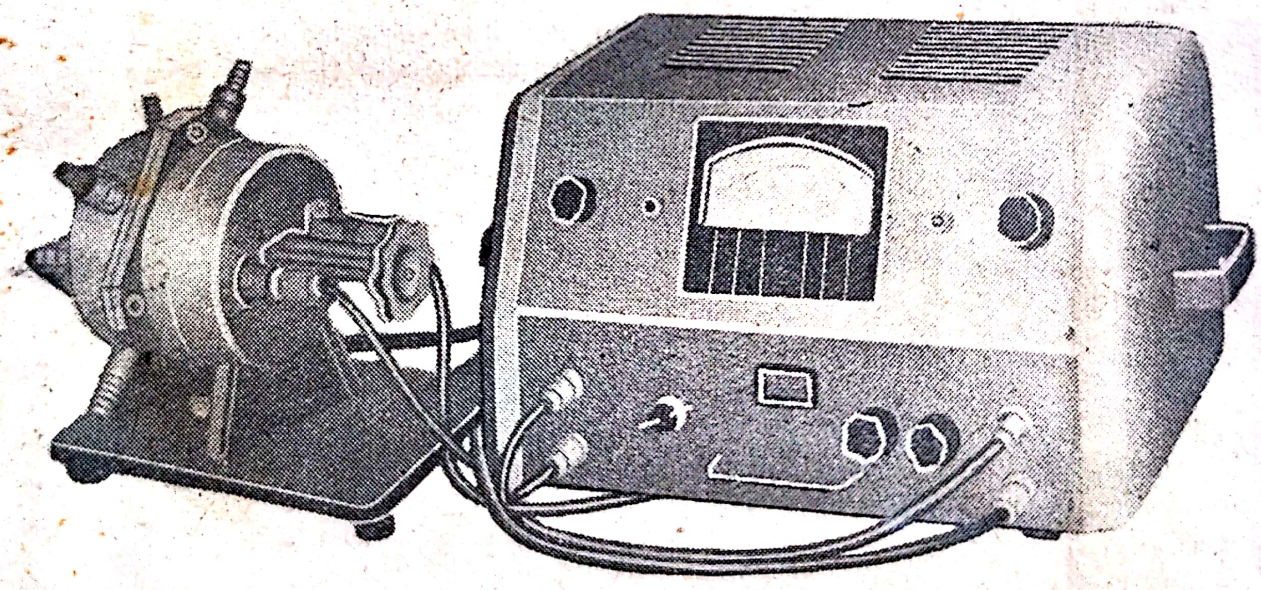


Fig. 10.12. Aspectul exterior al aparatului ИС-3А

Aparatul cu ultrasunete УЗИП-*1А* serveşte la analizarea rapidă şi controlul proceselor fizico-chimice în condiţii de laborator şi industriale. Destinaţia principală a aparatului constă în măsurarea continuă a coeficientului de absorbţie a ultrasunetelor în diferite medii lichide. Prin măsurarea coeficientului de absorbţie a ultrasunetelor este posibil să se efectueze o analiză

fizico-chimică (determinarea concentrației, a gradului de polimerizare al macropolimerilor, a vîscozității, a vitezei de desfășurare a reacțiilor chimice etc). Măsurările pot fi efectuate atît asupra unor probe separate, cît și asupra unui curent de lichid în mișcare.

La aparatele de tip УЗИП-1А măsurarea coeficientului de absorbție a ultrasunetelor poate fi făcută între limitele $(20—200\,000)\cdot 10^{17}$ s²/cm.

Frecvențele de lucru sînt egale cu 0,5; 1; 3; 5; 9 MHz, durata impulsurilor de radiofrecvență este de 30 μs, frecvența de repetiție a impulsurilor este de 50 Hz, iar amplitudinea totală a semnalului de la ieșirea (valoarea vîrf la vîrf a tensiunii) se reglează între limitele 0 și 10—35 V, în funcție de frecvență. Dispozitivul de citire (scara mobilă și indicatorul fix) permite citirea unor raporturi de la 1 pînă la 20 și are trei subgame: de la 1 pînă la 2,5; de la 2,5 pînă la 7,5; de la 7,5 pînă la 20. Coloanele de lichid din cuvele de măsurare au dimensiunile egale cu 60, 100, 150, 200, 300 mm. Volumul de lucru al cuvelor de măsurare are respectiv valorile: 170, 290, 430, 580 și 870 cm³.

Aparatul УЗИП-1А se bazează pe principiul de măsurare a coeficientului de absorbție, în funcție de raportul amplitudinilor a două reflexii apropiate ale undei sonore care trece prin cuva de măsurare. Schema-bloc a aparatului este arătată în fig. 10.13, iar schema electrică de principiu — în fig. 10.14. Generatorul de impulsuri modulate T_3 produce impulsuri de radiofrecvență. Frecvența lor poate fi egală cu 0,5; 1; 3; 5 sau 9 MHz. Generatorul de impulsuri modulate este realizat cu două tuburi electronice. Unul dintre acestea este oscilatorul propriu-zis (T_3), iar celălalt tub (T_4) reprezintă un modulator multivibrator de blocare. Multivibratorul generează impulsuri dreptunghiulare pozitive cu durata de 30 μs și deblochează, pentru această perioadă de timp, oscilatorul de înaltă frecvență, care în mod normal este blocat. De la generatorul de înaltă frecvență, impulsurile se aplică succesiv la etajul de reglare a amplitudinii (T_2), la etajul de adaptare (T_1) și unui element piezoelectric. Plăcuța de cuarț transformă oscilațiile electrice în vibrații mecanice. Un impuls care a sosit în lichidul studiat este reflectat de mai multe ori de către un reflector și de traductor. Ca rezultat în cuva de măsurare va exista un impuls ultrasonor care se amortizează în timp. Valoarea semnalului primului „ecou" recepționat va fi mai mare decît a celui de-al doilea, a celui de-al doilea mai mare decît a celui de-al treilea etc. Atenuarea semnalului va fi condiționată de atenuarea undei în lichid, precum și de pierderile cauzate de reflexia și dispersarea fasciculului de ultrasunete (ultimii doi factori pot fi determinați experimental și luați în considerare). În acest caz diferența dintre amplitudinile unor impulsuri vecine va caracteriza proprietățile de absorbție ale mediului. Lungimea coloanei de lichid se consideră egală cu dublul distanței de la traductor pînă la reflector. De la traductor, impulsurile de înaltă frecvență sosesc la intrarea unui receptor superheterodină, sub forma unei serii de impulsuri care se amortizează conform unei legi exponențiale. Frecvența de repetiție a seriilor de impulsuri este determinată de un generator de sincronizare realizat cu tiratronul T_5 cu catod rece. Oscilatorul cu tiratron este sincronizat cu frecvența rețelei (50 Hz). De la sarcina anodică și cea catodică ale etajului separator T_6 al generatorului de sincronizare, impulsurile se aplică la locurile

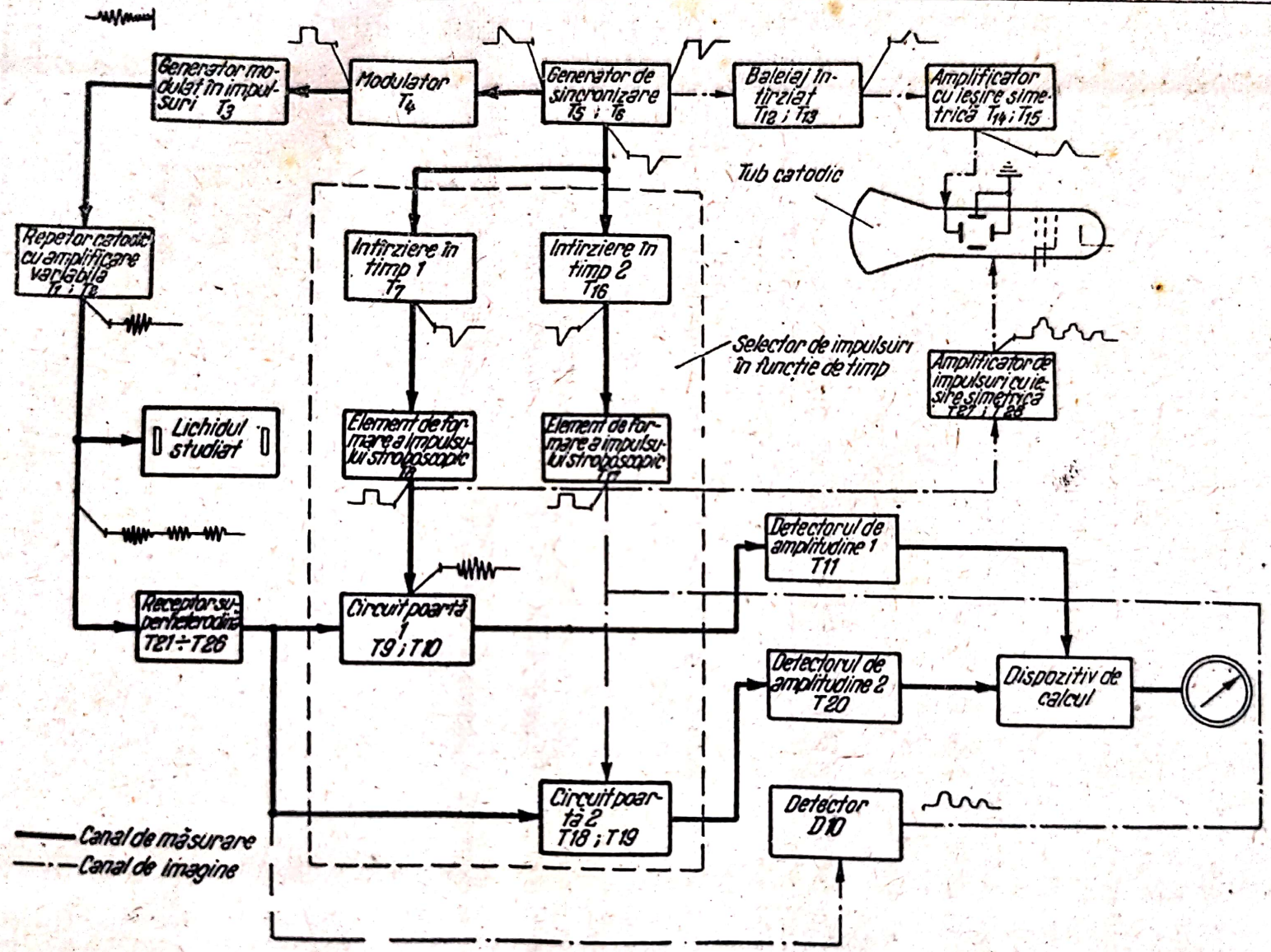


Fig. 10.13. Schema-bloc a aparatului УЗИП-1А.

necesare pentru pornirea modulatorului, a generatorului de baleiaj declanşat şi a multivibratoarelor declanşate T_7 şi T_{16} ale selectorului de timp.

Impulsurile de înaltă frecvenţă amplificate de receptor (receptorul superheterodină are o caracteristică de amplitudine riguros liniară) se aplică circuitului — poartă T_9, T_{10} pentru impulsul A_1 şi circuitului-poartă T_{18}, T_{19} pentru impulsul A_2. Funcţionarea circuitelor-poartă constă în următoarele:

Tubul T_{10} este elementul selectiv principal. La grila de comandă a tubului sosesc seriile de impulsuri, însă tubul este blocat cu ajutorul grilei-ecran (potenţialul grilei-ecran a tubului 6 П 15 П este egal cu 15—20 V) şi curentul catodic este aproape nul. În momentul aplicării impulsului de sincronizare la grila de comandă a tubului T_9, potenţialul catodului tubului T_9, prin urmare şi cel al grilei-ecran a tubului T_{10}, atinge o valoare de circa 200 V şi tubul trece într-un regim normal de repetor catodic. Dacă momentul aplicării impulsului de sincronizare coincide în timp cu unul dintre impulsurile de înaltă frecvenţă dintr-o serie, acest impuls va ajunge la detectorul de amplitudine al tubului T_{11}, iar dacă o asemenea coincidenţă nu va avea loc, prin rezistenţa de sarcină a repetorului catodic va trece un impuls de curent corespunzător unui „curent de echilibru" oarecare. Drept curent de echilibru se adoptă în mod convenţional valoarea curentului care circulă prin rezistenţa de sarcină a tubului T_{10} atunci cînd tubul este deblocat prin grila-ecran, iar la grila de comandă nu este aplicat nici un semnal. Este posibilă o oarecare diferenţă între tensiunile produse de curenţii de echilibru (din cauza diferenţei dintre pantele tuburilor T_9, T_{10} şi T_{18}, T_{19}), dar ea este compensată de către etajul echilibrat special T_{33}.

Momentul apariţiei impulsului de sincronizare este stabilit de operator cu ajutorul unei întîrzieri variabile (potenţiometrul R_{33} al multivibratorului declanşat realizat cu tubul T_7). Impulsul de sincronizare este produs de un alt multivibrator asimetric declanşat (T_8).

Prin urmare, cu ajutorul a două întîrzieri variabile şi a două circuite-poartă, se selectează două serii de impulsuri de radiofrecvenţă apropiate şi se aplică detectoarelor de amplitudine separate T_{11} şi T_{20}. De la ieşirea detectoarelor de amplitudine, tensiunile continue proporţionale cu amplitudinile A_1 şi A_2 se aplică în mod corespunzător repetoarelor catodice de adaptare T_{33}, iar de la ieşirea acestora — unui circuit de calcul. Cu ajutorul unui potenţiometru liniar şi al unui servosistem se realizează automat operaţia de divizare.

În afară de canalul principal de măsurare, montajul este prevăzut cu un canal auxiliar, a cărui destinaţie este de a alege, dintr-o serie de impulsuri, o pereche dorită şi de a asigura urmărirea calităţii măsurării (controlul stării părţii electrice şi celei acustice ale aparatului). Din acest canal fac parte detectorul de impulsuri de înaltă frecvenţă T_{11}, amplificatorul de impulsuri cu ieşire simetrică T_{27}, T_{28}, generatorul de baleiaj declanşat T_{12}, T_{13} şi amplificatorul cu ieşire simetrică T_{14}, T_{15} pentru tensiunea de baleiaj. Blocul de alimentare se compune din două transformatoare de reţea (unul de înaltă tensiune pentru alimentarea tubului catodic, iar celălalt pentru alimentarea circuitelor de filament, anodice şi de grilă); două tuburi redresoare T_{37}, T_{38} şi un stabilizator electronic cu tuburile T_{30}, T_{31}, T_{32}. Generatorul T_{34}, T_{35}, T_{36} asigură alimentarea elementelor potenţiometrului automat (36 şi 9 V).

Scanned with OKEN Scanner

Alimentarea aparatului se face de la reţeaua de curent alternativ cu frecvenţa de 50 Hz, la o tensiune de 127 sau 220 V. Puterea absorbită este de 450 W. Greutatea aparatului este de 40 kg, iar dimensiunile lui sînt de 560×435×385 mm. Aspectul exterior al aparatului УЗИП-1А cu camera de măsurare este arătat în fig. 10.15.

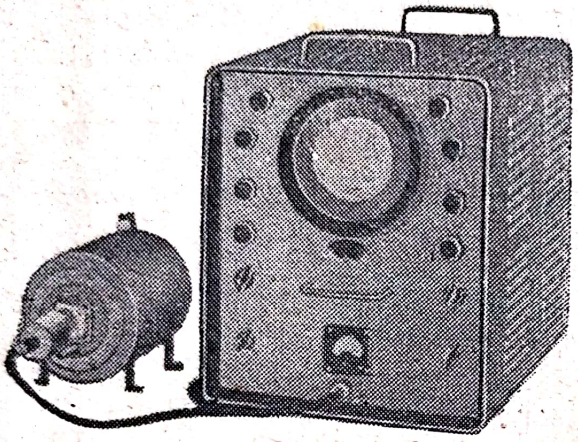


Fig. 10.15. Aspectul exterior al aparatului УЗИП-1А cu camera de măsurare.

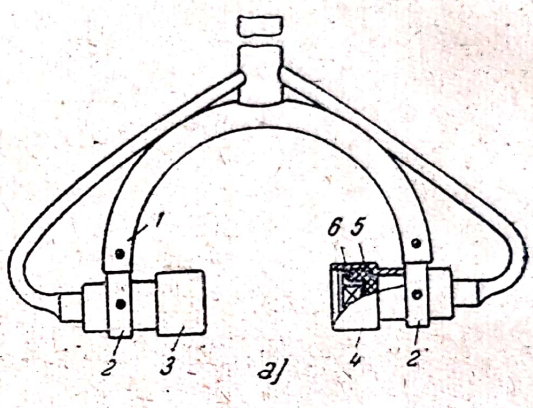


Fig. 10.16. Capul cu ultrasunete al aparatului УКХП:

1 — scoabă; *2* — tub cu bucşe; *3* — traductor-emiţător; *4* — traductor-receptor; *5* — bază; *6* — carcasă.

Aparatul УКХП este un aparat cu ultrasunete pentru controlul modului de desfăşurare a proceselor fizico-chimice şi pentru determinarea proprietăţilor materialelor solide nemetalice şi ale lichidelor. Aparatul УКХП se bazează pe metoda măsurării cu impulsuri a vitezei ultrasunetelor, legate de desfăşurarea unui proces sau de proprietăţile materialelor. Aparatul se compune dintr-un bloc electronic şi două capete de schimb, dintre care unul serveşte la funcţionarea cu lichide, iar celălalt — în cazul materialelor solide.

Capul pentru măsurarea vitezei ultrasunetelor în lichide (fig. 10.16) se compune dintr-o scoabă *1* în formă de arc, confecţionată dintr-o ţeavă prevăzută cu bucşele *2* pentru fixarea traductorului-emiţător *3* şi a traductorului-receptor *4*, de vibraţii ultrasonore. Din punct de vedere constructiv traductorul-emiţător şi cel receptor sînt identice.

Pentru emisia şi recepţia vibraţiilor ultrasonore în mediile lichide se folosesc plăcuţe din titanat de bariu. Traductorul-emiţător şi cel receptor sînt introduse în montura de polistirol *5* închisă în carcasa *6* din oţel inoxidabil. Capul pentru efectuarea măsurărilor în materiale solide are o construcţie asemănătoare.

În fig. 10.17 este reprezentată schema-bloc a aparatului. Multivibratorul aparatului realizat cu un tub 6Н1П produce impulsuri dreptunghiulare pozitive cu durata de 5 μs şi frecvenţa de repetiţie de 2,5 kHz. Cu ajutorul unui convertor se obţin impulsuri cu darata de 1 μs şi amplitudinea de 260—300 V şi se aplică traductorului emiţător.

Vibraţiile ultrasonore, trecînd prin mediul studiat, ajung la traductorul receptor, care le transformă în oscilaţii electrice. Acestea sînt aplicate unui

amplificator realizat cu două tuburi 6Ж5П şi un tub 6П15П. Aici oscilaţiile sînt amplificate şi se aplică unui multivibrator declansat (tub 6Н1П) care este declanşat de semnalul incident şi produce impulsuri de formă dreptunghiulară, cu durata de 300 μs.

Impulsurile diferenţiate se aplică apoi unui inversor realizat cu o jumătate a tubului 6Н1П, iar de la aceasta — la catodul transmiţătorului de semnale de pornire (tubul 6Х2П) La al doilea catod al tubului 6Х2П se aplică impulsurile diferenţiate ale multivibratorului realizat cu primul tub.

De la transmiţătorul impulsurilor de pornire, semnalele se aplică la anozii tubului 6Н1П cu care se realizează un circuit basculant bistabil. Acest circuit produce impulsuri de formă dreptunghiulară, egale ca durată cu timpul de trecere al ultrasunetelor prin mediul studiat. După aceea, un circuit limitator realizat cu o triodă a tubului 6Н1П limitează semnalele la partea superioară şi la cea inferioară şi le aplică unui repetor catodic realizat cu o triodă a unui tub 6Н1П, iar după aceea circuitului în punte al instrumentului măsurat. Acesta din urmă este un microampermetru conectat în diagonala circuitului în punte, care măsoară curentul care circulă prin diagonală atunci cînd puntea este dezechilibrată. Valoarea curentului care circulă atunci cînd puntea este dezechilibrată va depinde numai de durata impulsurilor, deoarece frecvenţa constantă de repetiţie a impulsurilor este asigurată de multivibrator, iar amplitudinea constantă a acestora — de către circuitul de limitare.

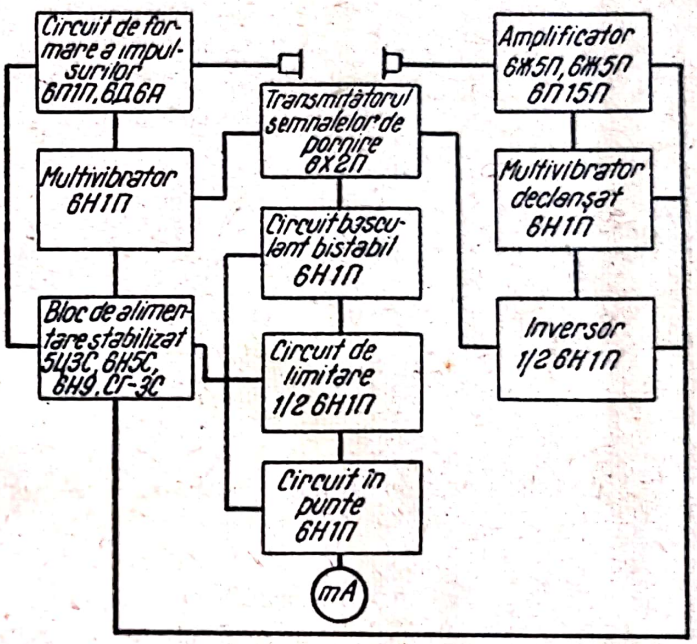


Fig. 10.17. Schema-bloc a aparatului У КХП.

Prin urmare, curentul care circulă prin microampermetru va fi proporţional cu timpul de trecere al ultrasunetelor prin mediul studiat. Timpul de trecere depinde de viteza de propagare a ultrasunetelor în mediul respectiv, deoarece construcţia capului asigură o distanţă constantă.

Pentru etalonarea aparatului în valorile necesare, s-a stabilit în prealabil, pe cale experimentală, variaţia parametrilor ultrasunetelor indicaţi mai sus, în funcţie de viteza de desfăşurare a proceselor chimico-tehnologice, de starea substanţei sau de alte date fizico-chimice controlate.

DATE TEHNICE

Precizia de măsurare, %	1
Alimentarea aparatului, V	220
Puterea absorbită, W	250
Dimensiunile de gabarit, mm	400×220×200
Greutatea aparatului, kg	6,5

Scanned with OKEN Scanner

Aparat cu ultrasunete pentru determinarea concentraţiei. Schema-bloc a unui astfel de aparat este reprezentată în fig. 10.18 iar schema de principiu — în fig. 10.19.

De la un generator de oscilaţii modulate în amplitudine (tuburile T_1 şi T_2), oscilaţiile electrice cu frecvenţa purtătoare de 1,5 MHz, modulate în amplitudine cu oscilaţii de frecvenţă 125 kHz (produse de un generator de oscilaţii modulatoare-tuburile T_3, T_4), se aplică traductorului piezoelectric emiţător TPE, care le transformă în vibraţii ultrasonore.

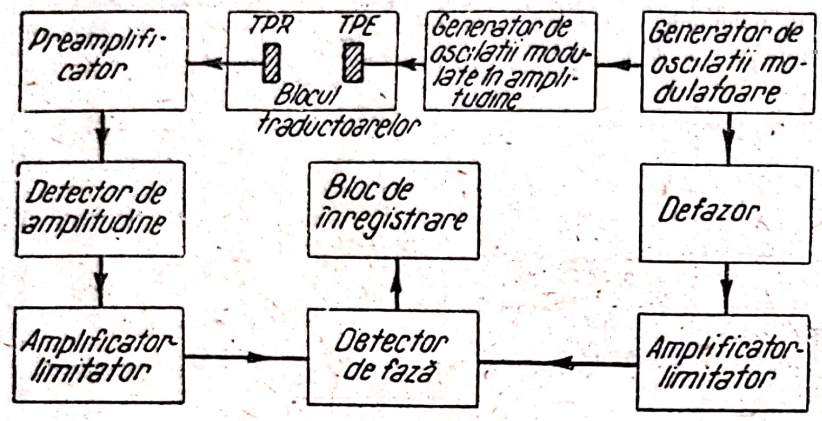


Fig. 10.18. Schema-bloc a unui aparat cu ultrasunete pentru măsurarea concentraţiei.

Trecînd prin mediul controlat, vibraţiile ultrasonore ajung la traductorul piezoelectric receptor TPR, cu un defazaj al înfăşurătoarei proporţional cu concentraţia supusă măsurării.

De la traductorul piezoelectric receptor, oscilaţiile electrice ajung la un preamplificator (tubul T_7) şi, apoi, la un detector de amplitudine (dioda semiconductoare cu contacte punctiforme D_1), pentru separarea înfăşurătoarei oscilaţiilor modulate. Oscilaţiile detectate sînt amplificate şi limitate de un amplificator-limitator (tuburile T_8, T_9, T_{10}) şi se aplică, cu amplitudinea stabilizată, unui detector de fază realizat cu transformatorul dintre tuburile T_{11}—T_{12} şi tubul T_{11}.

Oscilaţiile produse de oscilatorul de modulare se aplică, printr-un circuit defazor (comutatoarele K_1 şi K_2, tubul T_5 şi potenţiometrul R_1), amplificatorului-limitator al canalului generator (tuburile T_6, T_{12}) şi apoi, cu amplitudine stabilizată, detectorului de fază amintit.

La ieşirea detectorului de fază apare o tensiune continuă proporţională cu diferenţa de fază a oscilaţiilor care se aplică detectorului şi, în consecinţă, proporţională cu concentraţia substanţei din soluţia controlată. Drept instrument indicator se foloseşte un microampermetru de tip M24; indicaţiile sînt înregistrate pe banda unui potenţiometru electronic cu un singur punct de înregistrare.

Din punct de vedere constructiv, aparatul pentru măsurarea concentraţiei cu ajutorul ultrasunetelor este realizat sub forma a trei blocuri: blocul traductoarelor, blocul electronic de măsurare şi potenţiometrul înregistrator de tip ЭПП-09.

Interferometre. În procesele tehnologice interferometrele pot fi utilizate pentru determinarea compoziţiei şi raporturilor cantitative a două lichide amestecate.

Scanned with OKEN Scanner

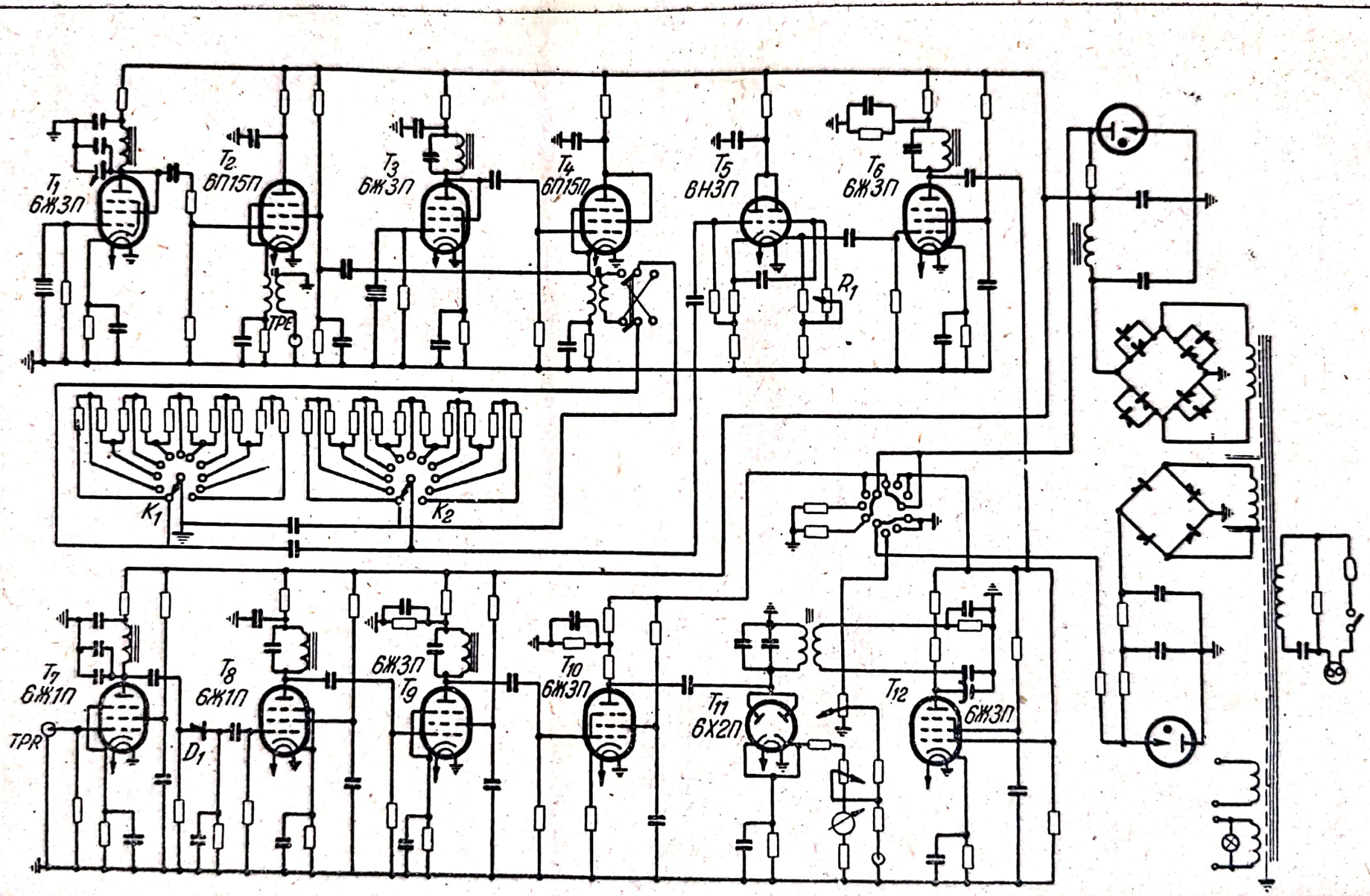


Fig. 10.19. Schema de principiu a aparatului cu ultrasunete pentru măsurarea concentrației.

Interferometrul cu deplasare manuală a reflectorului. Schema-bloc a acestui interferometru este reprezentată în fig. 10.20. Schema constructivă a unuia dintre interferometrele cu deplasare manuală a reflectorului este arătată în fig. 10.21.

Recipientul *1* este un cilindru de alamă cu lungimea de 250 mm; diametrul interior al cilindrului este de 40 mm. În suprafaţa laterală a cilindrului s-a practicat o fantă longitudinală cu lăţimea de 6 mm şi lungimea de 190 mm; deasupra fantei se aşază o prelungire îngustă, ale cărei dimensiuni interioare

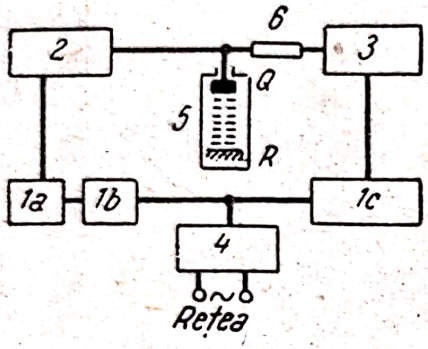


Fig. 10.20. Schema-bloc a interferometrului:

1a — generator de impulsuri de sincronizare; *1b* — bloc de baleiaj şi de producere a reperelor de timp; *1c* — oscilograf; *2* — generator de impulsuri al interferometrului; *3* — amplificator; *4* — bloc de alimentare; *5* — cameră cu lichid; *6* — regulator; *Q* — cuarţ; *R* — reflector.

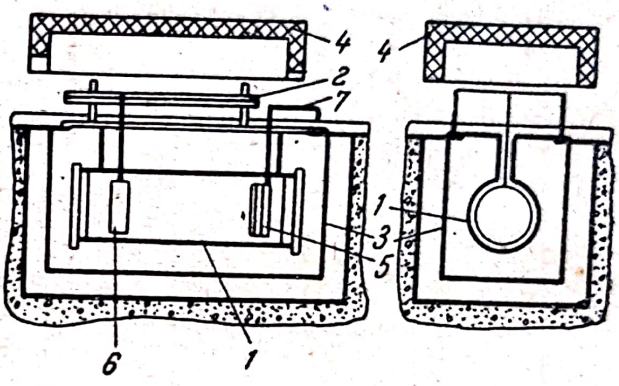


Fig. 10.21. Interferometru cu deplasarea manuală a reflectorului:

1 — vas; *2* — ghidaj; *3* — termostat; *4* — capac; *5* — montura cristalului de cuarţ; *6* — reflector; *7* — mecanism de ajustare.

sînt egale cu dimensiunile corespunzătoare ale fantei. Înălţimea prelungirii este de 40 mm. Fanta permite deplasarea reflectorului de-a lungul cilindrului, iar prelungirea dă posibilitatea ca cilindrul să fie spălat aproape complet cu ajutorul amestecului de răcire de orice alt lichid care poate fi folosit pentru menţinerea unei temperaturi constante în termostat. Suprafaţa interioară a recipientului *1* a fost acoperită cu nichel. Drept reflector mobil se foloseşte un disc şlefuit din oţel inoxidabil. Deplasarea reflectorului se face cu ajutorul unui şurub micrometric cu o precizie pînă la 10^{-3} cm. Paralelismul suprafeţelor cristalului de cuarţ şi reflectorului este asigurat de un sistem de mecanisme de ajustare. Drept traductor se foloseşte o plăcuţă de cuarţ rotundă, cu diametrul de 20 mm. Termostatul se compune din două vase de formă dreptunghiulară. Între pereţii vasului interior şi celui exterior au fost introduse garnituri din foaie de azbest; tot aici s-a montat şi spirala pentru încălzire. Suprafaţa exterioară a termostatului este şi ea acoperită de un strat de azbest. În capacul termostatului au fost montate agitatoare pentru amestecarea lichidului studiat. Uneori, în locul reflectorului se foloseşte o a doua plăcuţă de cuarţ (traductor-receptor), dar în acest caz se micşorează la jumătate lungimea drumului parcurs de impulsul ultrasonor. Acest fapt nu este de dorit, îndeosebi la măsurarea absorbţiei în lichidele care absorb moderat sau puţin

undele ultrasonore, deoarece aceasta duce la mărirea lungimii părţii active a camerei.

Interferometrul cu acţionare prin resort (fig. 10.22) funcţionează în modul următor. În spaţiul dintre reflectorul *2* şi vibratorul *4* se formează unde ultrasonore staţionare. Prin apăsarea butonului *1* reflectorul este coborît pînă la limită. La eliberarea butonului, sub acţiunea resortului *3*, reflectorul se ridică, parcurgînd distanţa fixă *S*. Concomitent cu aceasta, un contor electronic special determină numărul de maxime şi minime — care apar în acest interval de timp — ale curentului electric din circuitul acordat care excită vibraţiile cuarţului. În acest caz, viteza de deplasare a reflectorului este limitată numai de condiţia ca lichidul să nu se desprindă de pe suprafaţa reflectantă a reflectorului. Curba de variaţie a curentului anodic este reprezentată în fig. 10.23.

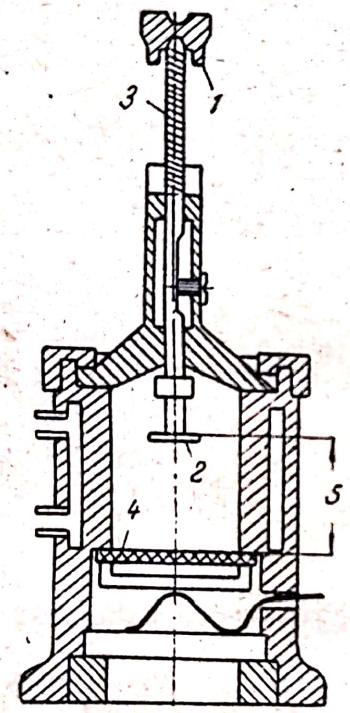


Fig. 10.22. Interferometru cu acţionare prin resort:
1 — buton; *2* — reflector; *3* — resort; *4* — vibrator de cuarţ.

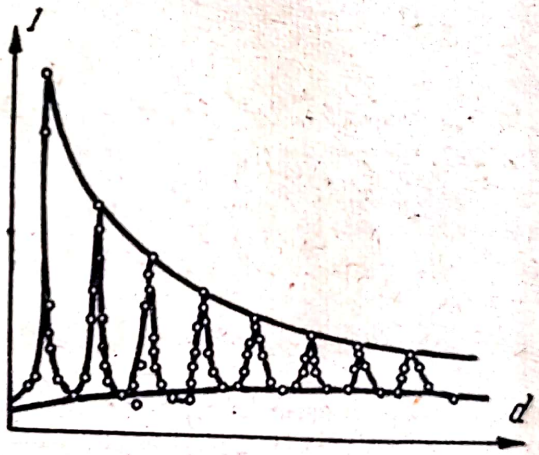


Fig. 10.23. Curba de variaţie a curentului anodic în funcţie de deplasarea reflectorului.

Interferometrul poate fi conectat practic în orice circuit care excită vibraţii ale unei plăcuţe de cuarţ, în cazul unei amplitudini a impulsului de aproximativ 20 V. Impulsurile pot fi luate de la bornele unei rezistenţe de valoare mare, conectată în circuitul acordat anodic.

Aparatul electronic care asigură funcţionarea interferometrului (fig. 10.24) se compune dintr-un generator de oscilaţii electrice de frecvenţă ultrasonoră, un redresor şi un amplificator. Generatorul produce o tensiune electrică alternativă, necesară pentru funcţionarea vibratorului de cuarţ din interferometru. Oscilaţiile tensiunii alternative, care apar în timpul deplasării reflectorului interferometrului, după ce sînt redresate şi amplificate, se aplică unui dispozitiv de calcul ПС-64. Amplificatorul trebuie să asigure o amplitudine a impulsu-

lui de circa 2 V, ceea ce este necesar pentru funcţionarea normală a dispozitivului ПС-64.

Interferometrul automat УИФ se deosebeşte de cele descrise mai sus prin faptul că posedă un reflector imobil, iar obţinerea unei unde staţionare între vibrator şi reflector se realizează prin variaţia frecvenţei vibratorului.

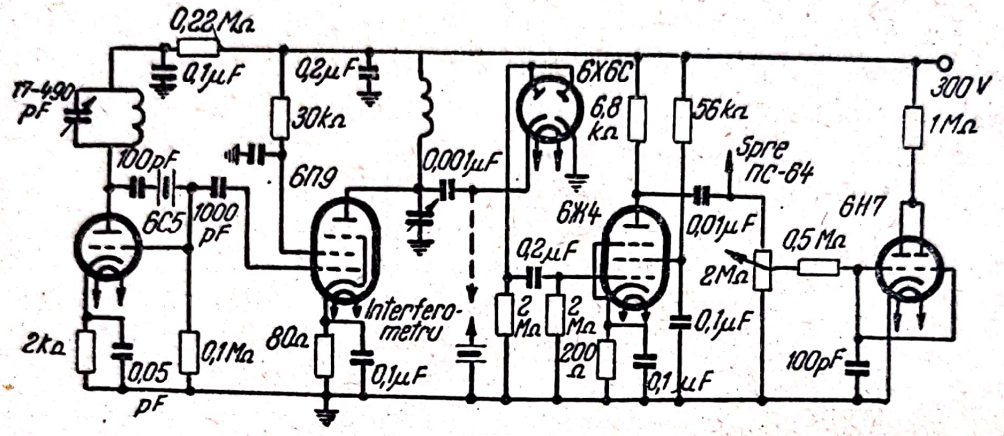


Fig. 10.24. Schema circuitului electronic al interferometrului cu acţionare prin resort.

Schema-bloc a interferometrului УИФ este reprezentată în fig. 10.25. Traductorul piezoelectric de cuarţ TPC este alimentat de la un etaj de amestec, printr-o rezistenţă de sarcină. Frecvenţa tensiunii de alimentare variază între limitele 10^3—10^6 Hz. Frecvenţa tensiunii de la ieşirea etajului de amestec este egală cu diferenţa frecvenţelor a două oscilatoare. Frecvenţa unui oscilator este constantă, iar frecvenţa celuilalt poate fi variată între anumite limite, cu ajutorul unui modulator. Cînd frecvenţa semnalului va coincide cu frecvenţele de rezonanţă ale coloanei de lichid studiat (între traductor şi reflector), la bornele rezistenţei de sarcină va apărea un impuls de tensiune provocat de variaţia curentului care alimentează traductorul. După detector, impulsurile de tensiune se aplică amplificatorului. Tensiunea amplificată ajunge apoi la un contor de impulsuri şi la un indicator (frecvenţmetru). Indicaţia frecvenţmetrului, adică numărul de impulsuri N pe unitatea de timp, va fi

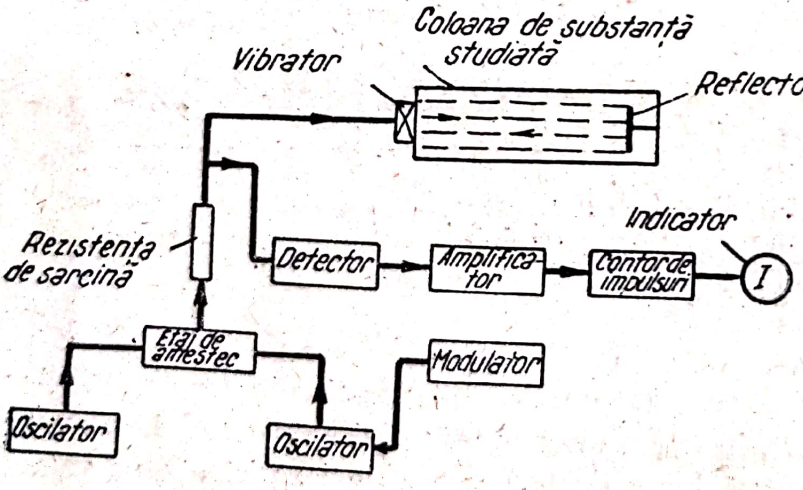


Fig. 10.25. Schema-bloc a unui interferometru automat de tip УИФ.

$$N = \frac{f_2 - f_1}{f_0} 2 F_m,$$

în care: F_m este frecvenţa tensiunii modulatoare;
f_1, f_2 — frecvenţa primului şi respectiv, celui de al doilea oscilator;
f_0 — frecvenţa fundamentală (cea mai joasă frecvenţă de rezonanţă a coloanei de substanţă studiată), determinată de raportul

$$f_0 = \frac{C}{2l},$$

în care C este viteza sunetului în substanţa studiată. De aici rezultă

$$N = 4l(f_2 - f_1)\ \frac{F_m}{C}.$$

Interferometrul УИФ are o eroare de 0,1% şi poate fi folosit pentru măsurări continue.

10.3. DEBITMETRE ŞI NIVELMETRE CU ULTRASUNETE

a) Debitmetre cu ultrasunete

Principiul de funcţionare al unui debitmetru cu ultrasunete (fig. 10.26) constă în următoarele: în nişte crestături practicate în conducta *1* se montează elementele piezoelectrice *2* confecţionate din titanat de bariu sau alt material piezoelectric sau magnetostrictiv. Comutatorul electronic *4* conectează alternativ elementele piezoelectrice la generatorul de impulsuri *5* şi la amplificatorul *6* prevăzut cu fazmetrul *7*. Prin urmare, elementele piezoelectrice funcţionează alternativ ca emiţătoare şi ca receptoare de unde ultrasonore care se propagă în mediul din conductă. Dacă într-un caz undele sonore se propagă în acelaşi sens cu lichidul, în celălalt caz se vor deplasa în sens contrar.

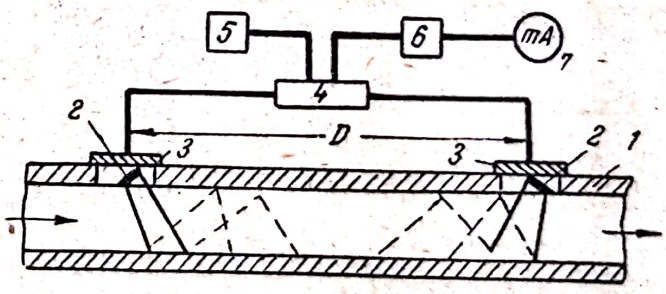


Fig. 10.26. Schema-bloc a unui debitmetru acustic: *1* — conductă; *2* — vibratoare piezoelectrice; *3* — locaşe pentru vibratoarele piezoelectrice; *4* — comutator electronic; *5* — generator de impulsuri; *6* — amplificator-fazmetru; *7* — indicator.

Deoarece viteza de propagare a sunetului în lichide este relativ mică, între vibraţiile emise de traductorul emiţător şi impulsurile ultrasonore primite de traductorul receptor apare o diferenţă de fază $\Delta\varphi$, care poate fi măsurată uşor. Mărimea $\Delta\varphi$, măsurată într-un lichid care se deplasează, va depinde de viteza C a sunetului în lichid şi viteza V a curentului de lichid. Pentru a se elimina erorile condiţionate de imprecizia în determinarea lui C, măsurările se fac alternativ cînd pentru sensul care coincide cu sensul de curgere al lichidului, cînd în sens contrar. Diferenţele de fază care apar se vor exprima prin următoarele ecuaţii:

$$\Delta\varphi_1 = \omega \frac{D}{C+V} \approx \omega \frac{D}{C} - \omega \frac{VD}{C^2}$$

în cazul cînd impulsul se propagă pe direcţia curentului de lichid, şi

$$\Delta\varphi_2 = \omega \frac{D}{C - V} \approx \omega \frac{D}{C} + \omega \frac{VD}{C^2}$$

în cazul sensului invers. D este distanţa dintre traductoare iar ω este pulsaţia ultrasunetului. Parametrul înregistrează diferenţa acestor mărimi, şi anume:

$$\Delta\varphi_1 - \Delta\varphi_2 = 2\omega \frac{VD}{C^2},$$

în care lipseşte termenul de valoare mare $\omega \frac{D}{C}$. Unghiul de defazaj poate fi suficient de mare şi, din această cauză, el poate fi înregistrat uşor. De pildă, în cazul cînd frecvenţa vibraţiilor este egală cu 100 kHz ($\omega = 2\pi\ 10^5\ s^{-1}$), iar distanţa dintre elementele piezoelectrice este $D = 10$ cm, dacă viteza sunetului în lichid este $C = 1{,}5 \cdot 10^5$ cm/s şi viteza curentului de lichid este $V = 10$ cm/s, unghiul de fază va fi

$$\Delta\varphi_1 - \Delta\varphi_2 = 0{,}32°.$$

Metoda cu ultrasunete pentru măsurarea vitezei şi cantităţii de lichid care curge prin conductă nu depinde de variaţiile temperaturii, ale compoziţiei substanţei măsurate şi de alţi factori care denaturează indicaţiile altor aparate cu destinaţie similară. Debitmetrele acustice au aplicaţii practice în cazul determinării debitului de apă în camerele turbinelor hidraulice de mare putere şi în alte cazuri.

Debitmetrul УЗР-1. Schema-bloc a debitmetrului cu ultrasunete УЗР-1 este reprezentată în fig. 10.27.

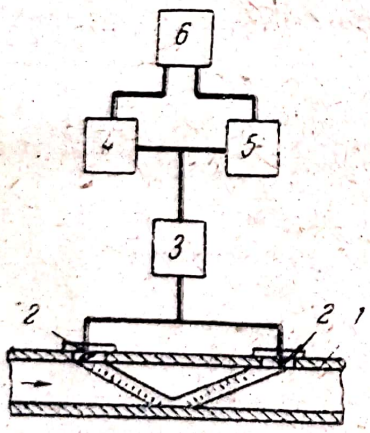


Fig. 10.27. Schema-bloc a debitmetrului cu ultrasunete УЗР.

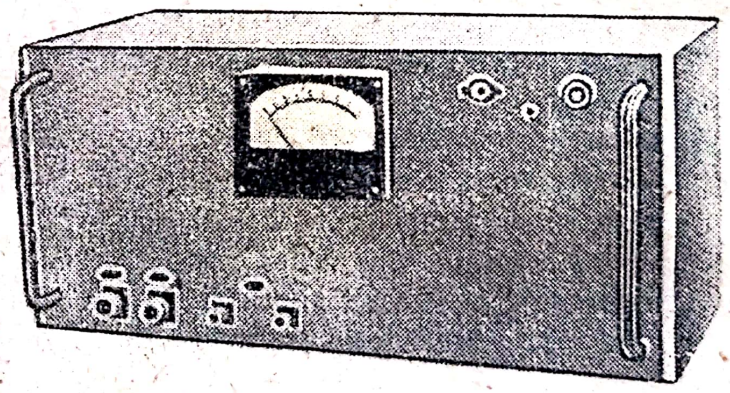


Fig. 10.28. Aspectul exterior al debitmetrului cu ultrasunete УЗР-1.

În crestăturile conductei *1* se montează traductoarele piezoelectrice *2*, confecţionate în mod obişnuit din titanat de bariu. Comutatorul electronic *3* comută alternativ traductoarele piezoelectrice la generatorul de impulsuri *4* şi la amplificatorul *5* cu fazmetrul indicator *6*, cu ajutorul căruia se citeşte cantitatea de lichid care circulă prin conductă. Aspectul exterior al aparatului este arătat în fig. 10.28. Aparatul are următoarele caracteristici tehnice principale.

Scanned with OKEN Scanner

Gama de măsurare a debitului de apă este cuprinsă între 100 şi 7 000 l/h (pentru o eroare de ± 2%). Aparatul УЗР-1 se compune din blocul traductoarelor şi un aparat de măsurat primar. Dimensiunile de gabarit ale blocului traductoarelor sînt: 250×100×120 mm, iar ale aparatului de măsurat 260×580×260 mm. Alimentarea aparatului se face de la o reţea de curent alternativ cu tensiunea de 220 V. Diametrul interior al conductei blocului traductoarelor este egal cu 1 ţol. Traductoarele se pot monta în conducte tubulare confecţionate din orice material.

Debitmetrul cu ultrasunete pentru lichide agresive[1]). Schema-bloc a aparatului este reprezentată în fig. 10.29. Aparatul se compune din următoarele subansambluri principale: un generator alcătuit dintr-un oscilator pilot şi un amplificator de putere; un bloc cu traductoare montat în conductă; un bloc de măsurare format dintr-un amplificator cu două canale pentru semnalele recepţionate şi un detector de fază; blocul de alimentare şi un aparat înregistrator automat.

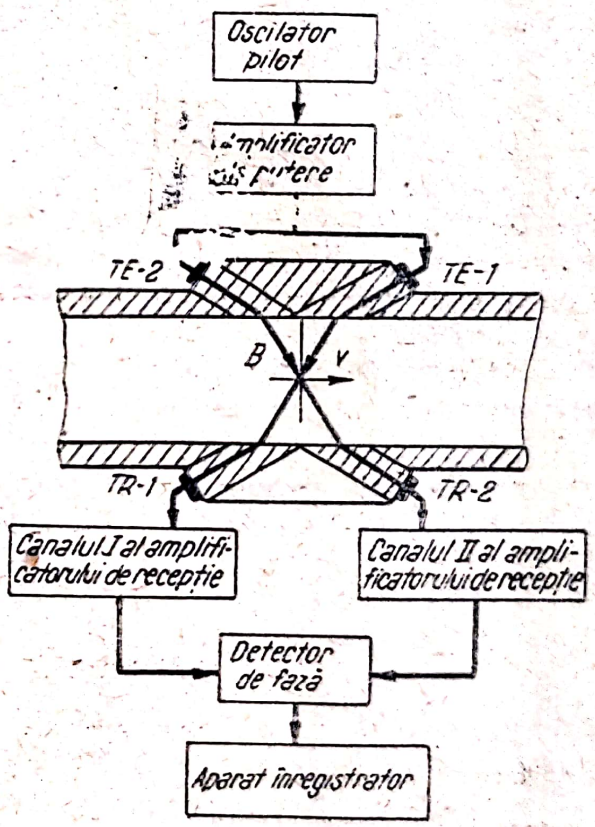


Fig. 10.29. Schema-bloc a debitmetrului pentru lichide agresive.

Blocul traductoarelor este alcătuit dintr-o conductă cu diametrul interior de 70 mm şi lungimea de circa 400 mm, prin pereţii laterali ai căreia trec patru ghiduri de ultrasunete. Capetele interioare ale ghidurilor de ultrasunete sînt strunjite la acelaşi nivel cu suprafaţa conductei, iar capetele lor exterioare se găsesc în aşa-numitele camere acustice, în care se amplasează traductoarele piezoelectrice şi elemente de cuplare electrică a traductoarelor cu cablul de legătură de înaltă frecvenţă. Conducta împreună cu camerele acustice se confecţionează dintr-o bucată de oţel inoxidabil de marca 1X18H9T. La extremităţile blocului traductoarelor există nişte flanşe pentru montarea lui pe o conductă magistrală. Cînd acest bloc este folosit pentru măsurări în medii agresive, suprafaţa interioară a blocului — cu excepţia suprafeţei ghidurilor de ultrasunete — este acoperită cu o peliculă de fluoroplast.

Ghidurile de ultrasunete ale blocului traductoarelor au forma unor cilindri cu diametrul de 30 mm şi lungimea, de-a lungul axei, de 125 mm. Axele ghidurilor de ultrasunete fac un unghi de 20° cu axa conductei; unghiul

[1]) Realizat de N. I. Brajnikov, G. N. Birger şi V. S. Margolin.

dintre direcţia fasciculului de ultrasunete în curentul de lichid şi axa acestui curent, la temperatura de 50°C, este egal cu 72°. În aceste condiţii, gamei de debite 0—80 m^3/h îi corespunde, pe frecvenţa de 1MHz, un defazaj între canale cuprins între 0 şi 113°.

Drept traductoare piezoelectrice s-au folosit plăcuţe de titanat de bariu cu diametrul de 20 mm şi grosimea de 2,5 mm. Traductoarelor-emiţătoare li se aplică de la generator o tensiune sinusoidală de frecvenţa de 1 MHz şi amplitudinea de circa 20 V. Puterea electrică aplicată unui traductor este de 2 W. Transmiterea puterii de la generator la traductoare se face printr-un cablu de înaltă frecvenţă РД-13, a cărui lungime nu trebuie să depăşească 100 m.

Oscilatorul pilot este realizat cu un tub 6Ж3П, prevăzută pentru stabilizare cu un cristal de cuarţ între grilă şi catod. Amplificatorul de putere cu tubul 6 П 14 П conectat ca triodă, cu sarcina la catod, este cuplat — prin intermediul unui transformator de adaptare — cu cablul care merge la traductorul emiţător.

Semnalele de la traductoarele piezoelectrice receptoare se transmit prin două cabluri РД-13 şi prin nişte transformatoare de adaptare la intrarea amplificatoarelor. Amplificatoarele ambelor canale sînt identice şi se compun din patru etaje acordate, realizate cu tuburi 6Ж3П. Primele două etaje funcţionează în regim clasă A, iar ultimele două în regim de limitare anodică. Amplificatorul asigură obţinerea la ieşire a unei tensiuni de circa 10 V, stabilă ca amplitudine şi absenţa practic totală a distorsiunilor de fază în cazul unor variaţii ale tensiunii de intrare de la 0,5 pînă la 500 mV.

Tensiunile obţinute de la amplificatoarele ambelor canale sosesc la un detector de fază compus din două receptoare catodice cu sarcină rezistivă comună, realizate cu un tub 6Н3П şi o diodă 6Х2П. În serie cu sarcina sînt conectate un aparat cu ac indicator de tip М24 şi o rezistenţă bobinată de 100 Ω, tensiunea de la bornele acesteia din urmă aplicîndu-se unui aparat înregistrator automat de tip ПСР-1.

Pentru compensarea defazajului iniţial dintre canale, în schema unuia dintre amplificatoare a fost introdus, între etajul al doilea şi al treilea, un circuit defazor în punte. Cuplajul dintre circuitul defazor şi etajele amplificatoare vecine se face prin intermediul a două repetoare catodice cu tubul 6Н3П, ceea ce împiedică influenţa circuitului defazor asupra acordului circuitelor rezonante ale acestor etaje şi asigură funcţionarea circuitului defazor cu o sarcină rezistivă constantă de mare valoare.

Alimentarea aparatului se face de la două redresoare separate. Generatorul este alimentat cu o tensiune nestabilizată. Pentru alimentarea circuitului de măsurare s-a folosit o dublă stabilizare. Utilizarea unui stabilizator ferorezonant permite să se stabilizeze tensiunea de filament a tuturor tuburilor din montajul de măsurare, precum şi tensiunile anodice ale primelor etaje ale amplificatoarelor. Pentru alimentarea anozilor şi grilelor ecran ale

Scanned with OKEN Scanner

ultimelor două etaje ale amplificatoarelor se utilizează o tensiune stabilizată suplimentar cu ajutorul unui tub stabilizator cu descărcări în gaze.

Din punct de vedere constructiv, partea electronică a debitmetrului este realizată sub forma a două blocuri. În primul bloc sînt amplasate cele două redresoare şi generatorul, iar în al doilea — întregul montaj de măsurare. Ambele blocuri sînt închise în nişte carcase metalice ermetice, care se montează pe panouri. Aspectul exterior al blocului traductoarelor, al ambelor blocuri cu capacele deschise şi al aparatului înregistrator este arătat în fig. 10.30.

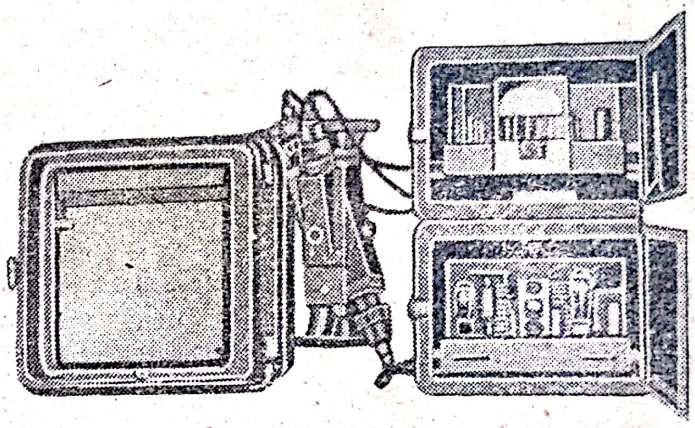


Fig. 10.30. Aspectul exterior al debitmetrului.

b) Nivelmetre cu ultrasunete

Nivelmetrul УУР , a cărui schemă-bloc este reprezentată în fig. 10.31, funcţionează în modul următor. Pe fundul rezervoarelor P_1, P_2—P_n se montează traductoarele-emiţătoare *1* şi traductoarele-receptoare 2. Generatorul de impulsuri 3 excită traductoarele-emiţătoare. Vibraţiile produse de acestea trec prin stratul de lichid supus măsurării şi, reflectîndu-se de limita de separaţie lichid-aer, se reîntorc excitînd în traductoarele-receptoare nişte semnale care apoi sînt amplificate. Pe ecranul unui osciloscop apar impulsurile iniţiale şi impulsurile reflectate de suprafaţa de separaţie cu aerul. În funcţie de distanţa dintre aceste impulsuri se poate determina uşor grosimea stratului lichid din

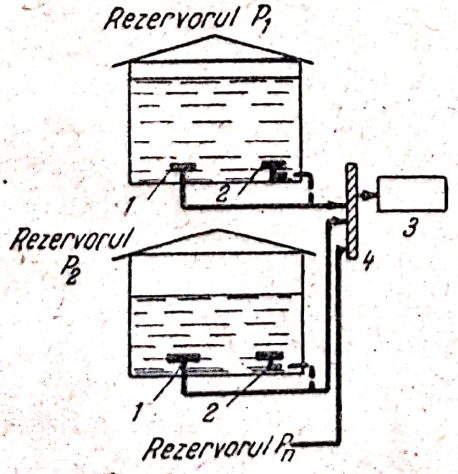


Fig. 10.31. Principiul de funcţionare al nivelmetrului cu ultrasunete de tip УУР.

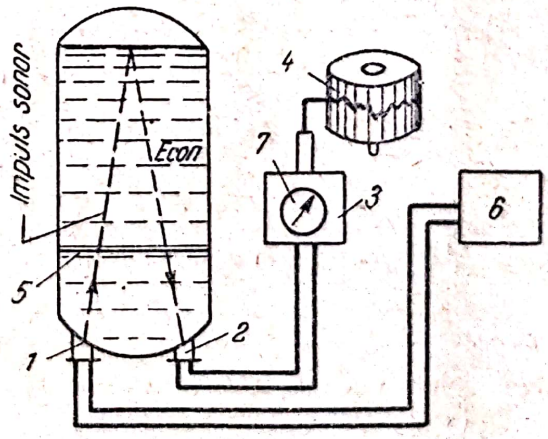


Fig. 10.32. Schema constructivă a unui nivelmetru cu ultrasunete de tip НУ ;

1 — plăcuţă piezoelectrică emiţătoare; *2* — plăcuţă piezoelectrică receptoare; *3* — amplificator; *4* — tambur rotativ cu diagramă şi peniţă înregistratoare; *5* — riglă de etalonare; *6* — generator de impulsuri electrice; *7* — indicator.

rezervor. Comutînd generatorul şi traductorul — receptor cu ajutorul unui comutator oarecare *4*, se poate controla nivelul concomitent în mai multe rezervoare. Nivelmetrul cu ultrasunete este folosit pentru supravegherea la distanţă.

Nivelmetrul ИУ(fig. 10.32) funcţionează la fel ca şi nivelmetrul УУР. Pe fundul unui recipient se montează un traductor-emiţător şi un traductor-receptor de vibraţii ultrasonore. Generatorul de impulsuri excită traductorul-emiţător, iar impulsurile ultrasonore produse de acesta, trecînd prin lichid, sînt reflectate la limitele de separaţie a acestuia şi se întorc spre traductorul-receptor.

După amplificare, semnalul de la traductorul-receptor se aplică unui dispozitiv analog cu cel folosit în defectoscoapele-grosimetre cu impulsuri pentru măsurarea timpului de parcurgere al unui impuls. Acest timp, dacă viteza sunetului în lichidul măsurat este cunoscută, permite determinarea grosimii (sau nivelului) stratului de lichid din recipient.

La ieşire, în afară de instrumentul cu ac indicator, se poate folosi şi un aparat înregistrator. Pentru etalonarea aparatului, la o anumită distanţă de vibrator se fixează o tijă specială. Semnalul reflectat de această tijă serveşte drept reper de etalonare.

Aparatul cu ultrasunete ПУС *pentru controlul şi semnalizarea nivelului lichidelor* serveşte la controlul şi semnalizarea nivelului lichidelor în reactoare şi recipiente închise şi deschise. El oferă posibilitatea de a efectua de la distanţă măsurări fără contact, în medii agresive şi neagresive.

Funcţionarea aparatului se bazează pe înregistrarea variaţiei gradului de atenuare a unor vibraţii ultrasonore care se propagă prin peretele recipientului, atunci cînd acesta este umplut cu lichid pînă la un nivel dat şi mai jos decît acest nivel. Excitarea vibraţiilor se face cu ajutorul a două traductoare piezoelectrice aşezate orizontal pe partea exterioară a recipientului, la înălţimea nivelului controlat. Schema-bloc a aparatului ПУС este reprezentată în fig. 10.33.

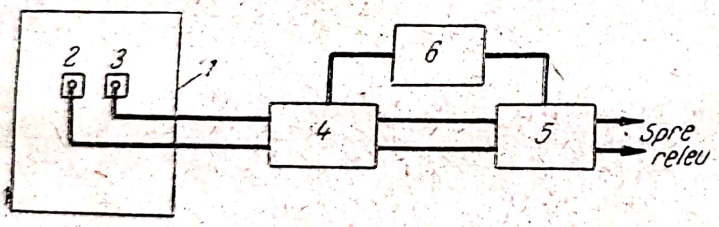


Fig. 10.33. Schema-bloc a nivelmetrului cu ultrasunete ПУС.

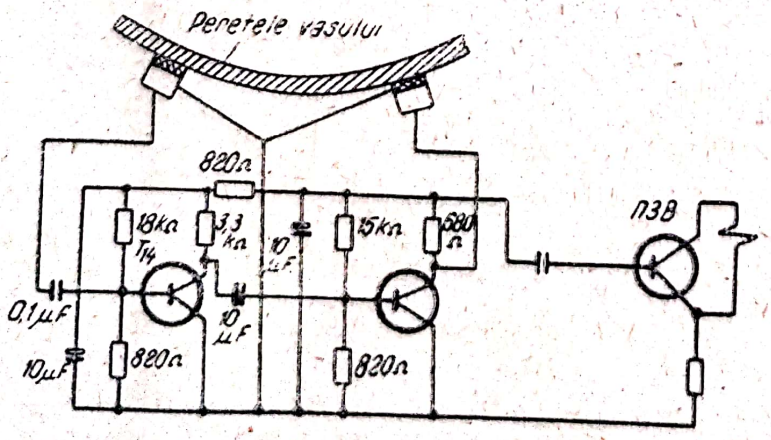


Fig. 10.34. Schema de principiu a aparatului ПУС.

Aparatul se compune din patru elemente principale: traductoarele de titanat de bariu 2 şi 3 montate pe peretele recipientului *1*, amplificatorul cu autoexcitaţie *4*, dispozitivul indicator 5 şi blocul de alimentare 6. Schema de principiu a aparatului este prezentată în fig. 10.34.

Drept traductoare, în aparatul ПУС se utilizează elemente de titanat de bariu, care se montează la o distanţă de 100 mm unul de celălalt. Un element de titanat de bariu este conectat la ieşirea amplificatorului cu autoexcitaţie, iar celălalt — la intrarea acestui amplificator.

Amplificatorul cu autoexcitaţie este realizat cu tranzistoare cu joncţiuni conform schemei cu cuplaj *RC* şi are două etaje de amplificare. Factorul total de amplificare al amplificatorului este $K \approx 250$. Ieşirea amplificatorului este legată la intrarea lui, prin intermediul elementelor piezoelectrice. În regim de autoexcitaţie, tensiunea de la ieşirea amplificatorului atinge 3 V.

Drept dispozitiv indicator s-a folosit un releu polarizat РП-5.

Amplificatorul cu autoexcitaţie şi dispozitivul indicator sînt alimentate cu o tensiune continuă de 9 V, obţinută de la două baterii КБС, legate în serie.

În cazul autoexcitaţiei amplificatorului, dispozitivului indicator i se aplică tensiunea maximă de 3 V. La ieşirea dispozitivului indicator există un sistem de semnalizare optică sau acustică, iar în caz de necesitate — un dispozitiv automat cuplat cu sistemul de debitare a lichidului în recipient.

Să examinăm două cazuri de funcţionare a aparatului: atunci cînd lichidul ajunge pînă la nivelul prescris în recipient şi atunci cînd lichidul nu ajunge pînă la acest nivel.

Dacă există lichid la nivelul elementelor piezoelectrice, vibraţiile ultrasonore se propagă prin peretele recipientului cu pierderi însemnate, din cauza trecerii unei părţi din energie în lichid. Din această cauză, tensiunea aplicată la intrarea amplificatorului va fi neînsemnată şi nu va avea loc autoexcitarea amplificatorului, prin urmare nu se va aplica tensiunea dispozitivului indicator. Schema aparatului este alcătuită în aşa fel, încît — în absenţa tensiunii — în dispozitivul indicator intră în funcţiune un al doilea sistem de semnalizare şi în caz de necesitate se conectează un dispozitiv pentru micşorarea nivelului lichidului.

Dacă lichidul din recipient nu a ajuns pînă la nivelul prescris, la intrarea amplificatorului se aplică o tensiune care constituie o consecinţă a instabilităţii tensiunii sursei de alimentare, a instabilităţii de funcţionare a transistoarelor şi a altor cauze. Această tensiune este amplificată de amplificatorul cu două etaje şi se aplică unui element piezoelectric din titanat de bariu, conectat la ieşirea amplificatorului. Elementul piezoelectric transformă această tensiune în vibraţii ultrasonore care se propagă, cu atenuare foarte mică, prin pereţii recipientului. Ajungînd pînă la al doilea element piezoelectric, vibraţiile ultrasonore sînt transformate de acesta în oscilaţii electrice şi se aplică la intrarea amplificatorului. Valoarea tensiunii acestor oscilaţii atinge în acest caz maximum, iar faza coincide cu faza tensiunii iniţiale. Cînd la intrarea amplificatorului se aplică asemenea oscilaţii, în montaj are loc o autoexcitaţie pe frecvenţele pentru care sînt îndeplinite condiţiile de fază şi amplitudine a tensiunilor transformate de elementele traductoare.

Caracteristicile aparatului ПУС sînt următoarele: eroarea de determinare a nivelului lichidului $\pm 0{,}5$ cm, temperatura maximă admisibilă a peretului exterior al recipientului $+60°C$, dimensiunile de gabarit $120 \times 120 \times 150$ mm, iar greutatea 400 g.

10.4. VISCOZIMETRE CU ULTRASUNETE

Metodele de măsurare existente nu permit urmărirea continuă a variaţiilor viscozităţii unui flux de lichid. O soluţie a acestei probleme a fost crearea viscozimetrelor cu ultrasunete.

În fig. 10.35 este reprezentată o schemă care ilustrează principiul de funcţionare al unui viscozimetru cu ultrasunete. Pe capătul vibratoriu al armăturii *1* a unui electromagnet alimentat cu curent stabilizat se fixează elementul piezoelectric *3*, pe ale cărui suprafeţe — sub acţiunea vibraţiilor armăturii — ia naştere o tensiune alternativă. Pentru măsurarea viscozităţii, plăcuţa vibratoare este cufundată în lichidul studiat. O dată cu creşterea viscozităţii se măreşte rezistenţa opusă mişcării vibratorii a armăturii, amplitudinea acesteia se micşorează, eforturile de deformare care acţionează asupra plăcuţei piezoelectrice se micşorează şi ca rezultat scade valoarea forţei electromotoare de pe armăturile ei. Forţa electromotoare dezvoltată de elementul piezoelectric este amplificată şi apoi măsurată de un instrument cu ac indicator, a cărui scară este etalonată în unităţi de viscozitate (poise, stokes).

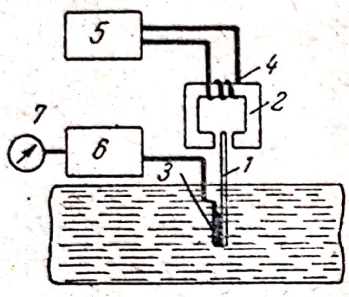


Fig. 10.35. Schema constructivă a viscozimetrului acustic:

1 — armătura vibratoare a electromagnetului; *2* — miezul electromagnetului; *3* — plăcuţă piezoelectrică; *4* — bobinajul de excitaţie al electromagnetului; *5* — generator de tensiune variabilă de 400 . . . 700 Hz; *6* — amplificator; *7* — instrument indicator cu ac.

Aparate analoge, denumite uneori vîscozimetre de vibraţie cu ultrasunete, şi-au căpătat aplicaţii în industria alimentară. Mai jos se descrie construcţia unui asemenea aparat.

a) Viscozimetrul de vibraţie cu ultrasunete

Schema electronică a viscozimetrului (fig. 10.36) se compune din două subansambluri principale: amplificatorul de semnal (amplificatorul de măsurare) şi un amplificator cu limitator care alimentează electromagnetul de excitaţie al unui diapazon.

Amplificatorul de măsurare are două etaje de preamplificare cu tubul T_1 (amplificarea dată de primul etaj este egală cu 38, iar cea dată de-al doilea etaj este egală cu 45). După preamplificare, de la potenţiometrul R_{11} semnalul se aplică la grila tubului T_5. Cu ajutorul potenţiometrului se poate varia amplificarea şi prin aceasta se poate modifica valoarea tensiunii de intrare.

Ambele triode ale tubului T_5 (6H9) sînt conectate în ramurile unei punţi în a cărei diagonală s-a conectat un instrument de măsurat (microampermetru) care indică o tensiune proporţională cu amplitudinea vibraţiilor plăcuţei. Cu ajutorul rezistenţei variabile R_{24} se egalizează curenţii anodici ai celor două triode ale tubului T_5 şi se aduce la zero acul microampermetrului.

În schema amplificatorului care alimentează bobina de excitaţie a electromagnetului, se găsesc două etaje de amplificare cu tubul T_1 (6H9) care fac parte şi din schema amplificatorului de măsurare. După preamplificarea în tubul T_1 (6H9), semnalul se aplică la două etaje de amplificare şi limitare, iar apoi se aplică etajului final de amplificare de putere cu tubul T_4 (6П3С) legat

ca triodă într-o schemă de repertor catodic În circuitul de catod al acestui tub este conectată o bobină de electromagnet, astfel încît componenta continuă a curentului premagnetizează bobina, iar componenta alternativă produce forţa care obligă diapazonul să vibreze. Sistemul electromecanic vibrează pe frecvenţa lui de rezonanţă. Valoarea tensiunii aplicate vibratorului este determinată numai de parametrii circuitului amplificatorului-limitator, iar forţa care excită sistemul vibratoriu nu depinde de amplitudinea vibraţiilor plăcuţei.

Din punct de vedere constructiv, viscozimetrul electronic este realizat sub forma unui aparat de masă.

Toate piesele aparatului sînt montate pe un panou vertical şi un şasiu orizontal, închise într-o cutie.

Blocul traductor al viscozimetrului este o sondă cilindrică conectată la blocul de măsurare. Elementul sensibil al blocului traductor este un disc cu diametrul de 5 mm, confecţionat din oţel inoxidabil, fixat în aşa fel la capătul unui braţ al diapazonului, încît — atunci cînd diapazonul este excitat — discul să vibreze în planul propriu. Pe acelaşi braţ al diapazonului, dar la partea superioară, este fixată o presă din ceramică de titanat de bariu.

Electromagnetul de excitaţie al diapazonului este fixat de baza diapazonului şi se aşază între braţele paralele ale acestuia.

Întrucît măsurarea viscozităţii trebuie efectuată la o temperatură riguros determinată, blocul traductor al viscozimetrului se introduce într-o cameră specială.

Viscozimetrul oferă posibilitatea utilizării lui pentru măsurarea şi înregistrarea continuă a viscozităţii. Înregistrarea se face conectînd la blocul de măsurare al viscozimetrului un potenţiometru înregistrator.

Aparatul funcţionează într-o gamă de măsurare a viscozităţii lichidelor cuprinsă între 0,2 şi 26 poise. Eroarea totală nu depăşeşte 2%. Alimentarea aparatului se face de la o reţea de curent alternativ cu tensiunea de 220 V.

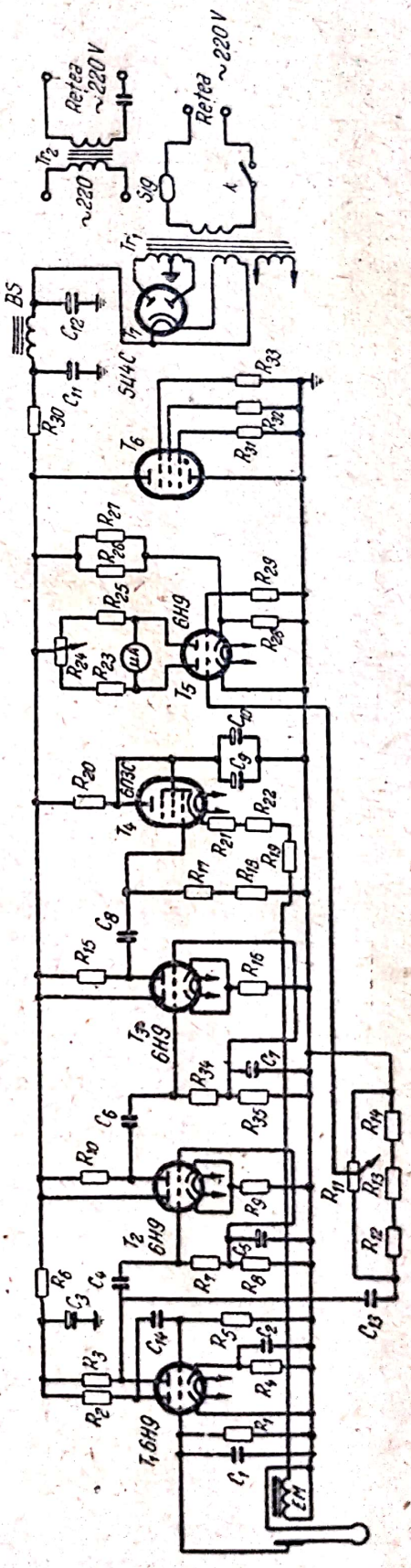


Fig. 10.36. Schema de principiu a viscozimetrului.

b) Viscozimetru cu impulsuri

Principiul de funcţionare al viscozimetrului cu impulsuri se bazează pe măsurarea variaţiei atenuării vibraţiilor elastice proprii ale unei plăcuţe care vibrează într-un lichid, în funcţie de viscozitatea acestuia din urmă (fig. 10.37).

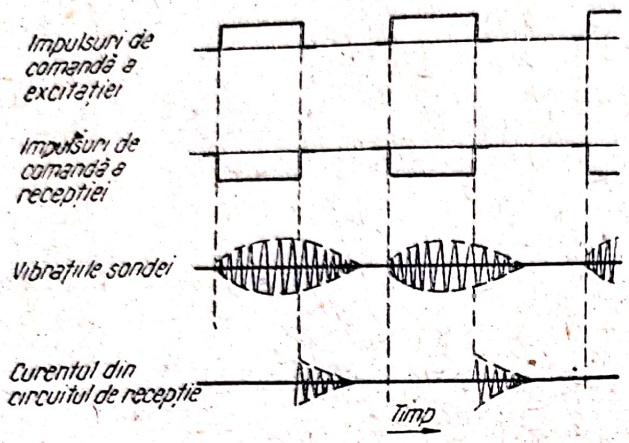


Fig. 10.37. Principiul de funcţionare al viscozimetrului cu impulsuri.

O plăcuţă magnetostrictivă vibrează pe o direcţie paralelă cu planul ei, pe frecvenţa proprie, fiind excitată de impulsuri dreptunghiulare periodice, aplicate bobinajului vibratorului.

Schema-bloc a viscozimetrului este reprezentată în fig. 10.38.

Sondei *1*, care constituie traductorul aparatului, i se aplică impulsurile de excitaţie care apar ca rezultat al diferenţierii, de către un circuit *RC*, a oscilaţiilor în dinţi de ferăstrău produse de generatorul 5. În acest caz, plăcuţa sondei, care este un vibrator magnetostrictiv, trece într-un regim de vibraţii proprii longitudinale cu un coeficient de amortizare care depinde de viscozitatea mediului ce înconjoară plăcuţa. Conform aceleiaşi legi scade şi tensiunea indusă în bobinajul sondei de către plăcuţa care vibrează. Această tensiune se aplică amplificatorului 2, limitatorului *3* şi unui amplificator de curent continuu şi integrator *4*. Tensiunea luată de la ieşirea acestuia din urmă comandă frecvenţa de repetiţie a oscilaţiilor în dinţi de ferăstrău ale generatorului 5. Instrumentul 7, măsoară curentul mediu absorbit de acest generator.

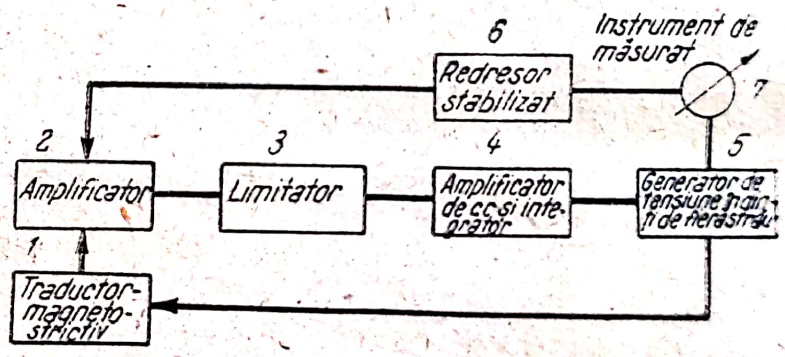


Fig. 10.38. Schema-bloc a viscozimetrului.

În fig. 10.39. este reprezentată schema de principiu a aparatului. Blocul redresor se compune din două canale de înaltă tensiune stabilizate, alimentate de la bobinaje separate ale transformatorului de reţea. Primul canal cu tuburile T_1 (6Ц5С), T_2 (6Н1П) alimentează circuitul unui oscilator cu tiratron. Al doilea canal care conţine tuburile T_3 (5Ц4С), T_4 (6П1П), T_5 (6Ж1П), T_6 (СГ-4С) alimentează celelalte circuite şi produce tensiunea de referinţă pentru primul canal.

Oscilatorul cu tiratron realizat cu tubul T_7 (ТГ-0,1/1,3) generează o tensiune cu dinţi de ferăstrău. Drept rezistenţă de încărcare pentru condensa-

torul C_1 se foloseşte o tetrodă cu fascicul dirijat T_8 (6П1П), al cărei potenţial catodic este stabilizat cu tubul stabilovolt T_9 (СГ-2С). Descărcarea condensatorului are loc prin tiratron în momentul cînd tensiunea de la bornele condensatorului atinge valoarea potenţialului de aprindere al tiratronului. Impulsurile în dinţi de ferăstrău sînt diferenţiate de un circuit compus din condensatorul C_2 şi rezistenţa sondei. Impulsul obţinut prin diferenţiere, trecînd prin bobinajul sondei, provoacă apariţia unui cîmp magnetic în ea. Acest cîmp magnetic (datorită efectului magnetostrictiv direct) deformează în regim de impulsuri plăcuţa sondei şi, ca rezultat, în aceasta apar vibraţii longitu-

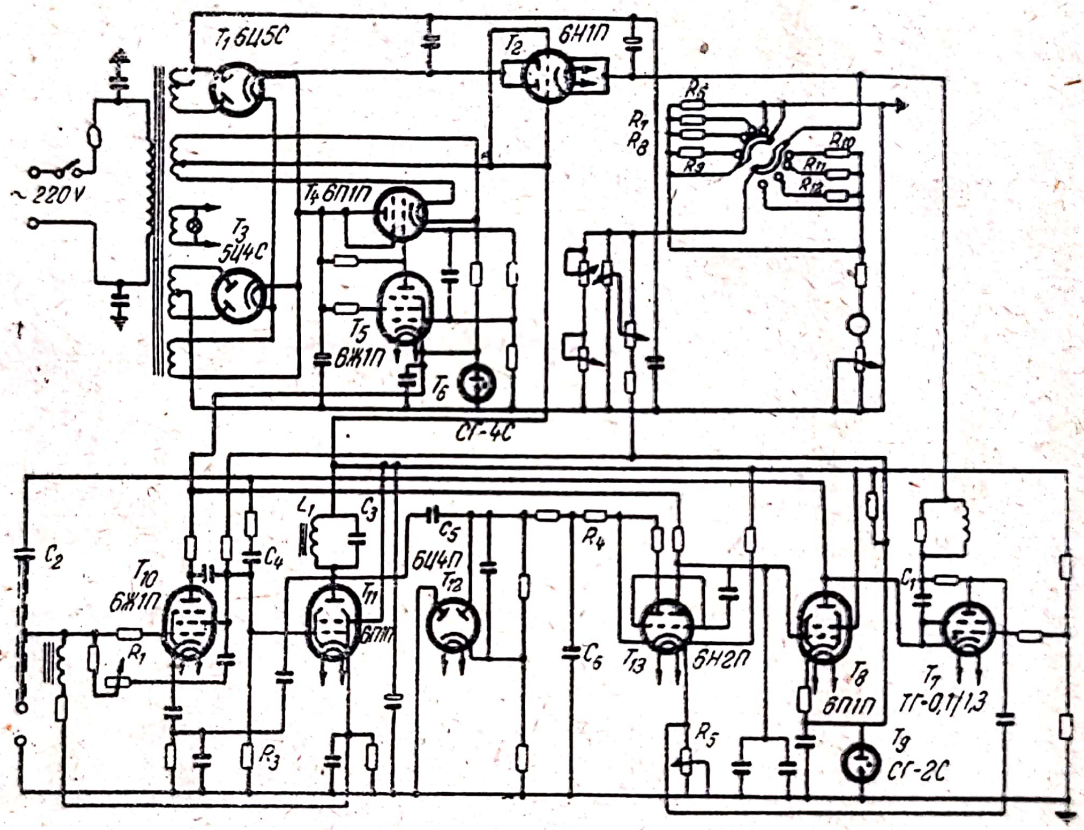


Fig. 10.39. Schema de principiu a viscozimetrului.

dinale proprii a căror frecvenţă (28 kHz) este determinată de lungimea plăcuţei. Amplitudinea acestor vibraţii scade în timp. Datorită efectului magnetostrictiv invers, în bobinajul sondei se induce o forţă electromotoare alternativă, a cărei frecvenţă este egală cu frecvenţa vibraţiilor plăcuţei; amplitudinea acestei forţe electromotoare scade exponenţial în timp cu acelaşi coeficient de amortizare. Semnalul de la ieşirea bobinajului sondei se aplică grilei de comandă a tubului T_{10} (6Ж1П) din primul etaj aperiodic de amplificare. Rezistenţa R_1' serveşte la limitarea curentului de grilă provocat de impulsul de excitaţie. Rezistenţele R_1 şi R_2 determină punctul de funcţionare al tubului T_{10}. Sarcina celui de-al doilea etaj de amplificare, realizat cu tubul T_{11} (6П1П), este constituită din circuitul acordat L_1C_3.

Pentru mărirea sensibilităţii sondei, bobinajului acesteia i se aplică un curent continuu de premagnetizare de la catodul tubului T_{11}.

Impulsul de excitaţie, amplificat parţial de primul etaj de amplificare, se aplică la grila tubului T_{11} la care se aplică — în opoziţie de fază — şi impulsul obţinut ca rezultat al diferenţierii tensiunii în dinţi de ferăstrău, de către circuitul R_3C_4.

De la anodul tubului T_{11} semnalul se aplică, prin condensatorul C_5, la duodioda T_{12} (6Ц4П). Dioda din stînga serveşte drept detector cu funcţionare în regim de limitare inferioară, iar cea dreaptă stabilizează variaţia curentului de emisie. După limitare, semnalul este integrat de circuitul R_4C_6 şi apoi se aplică tubului T_{13} (6Н2П), care serveşte drept amplificator de curent continuu şi integrator. De la anodul acestui tub, semnalul amplificat şi integrat din nou se aplică la grila de comandă a tubului de încărcare T_8 (6П1П).

Coeficientul de amortizare al plăcuţei magnetostrictive depinde de viscozitatea mediului care înconjoară sonda. Variaţia acestei viscozităţi cauzează o variaţie corespunzătoare a tensiunii de la grila de comandă a tubului de încărcare, fapt care duce la variaţia frecvenţei de repetiţie a oscilaţiilor în dinţi de ferăstrău ale oscilatorului cu tiratron, adică la variaţia curentului mediu care trece prin aparatul de măsurat. Reglarea iniţială a fercvenţei oscilaţiilor în dinţi de ferăstrău (cînd sonda nu are sarcină) se face cu ajutorul rezistenţei R_5.

Circuitul de măsurare se compune din următoarele elemente legate în serie: redresorul (T_1, T_2), tubul de încărcare T_8, tubul stabilovolt T_9, tiratronul T_7, setul de rezistenţe R_6-R_{12} şi un aparat de măsurat. Compensarea curentului iniţial produs de pierderile proprii din sistemul mecanic al sondei se face cu ajutorul a două rezistenţe conectate în circuitul celui de al doilea canal de înaltă tensiune.

Comutarea gamelor se realizează cu ajutorul setului de rezistenţe R_6-R_{12}, care asigură un factor de divizare cu 10, 100, 1 000 pentru curentul care circulă prin instrumentul de măsurat. Acesta din urmă este un microampermetru de tip M24 pentru 100 μA. În cazul poziţiei de zero a comutatorului de game, instrumentul de măsurat este scurtcircuitat.

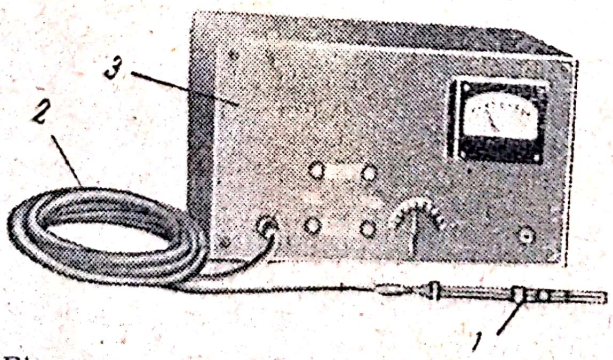


Fig. 10.40. Aspectul exterior al viscozimetrului cu ultrasunete:
1 — sondă; 2 — cablu; 3 — bloc electronic.

Aparatul este alimentat de la o reţea de curent alternativ (220 V) prin intermediul unui stabilizator ferorezonant de tensiune. Puterea absorbită de aparat este de circa 150 V.

Aparatul are următoarele caracteristici principale: posibilitatea de măsurare automată continuă; gama de temperaturi a măsurărilor pînă la 200°C; gamele de măsurări: 0—50,

0—500, 0—5 000 și 0—50 000 cP·g/cm³; eroare de 5% pe întreaga scară a unei game; posibilitatea măsurării de la distanță; cantitate minimă de substanță necesară pentru măsurări (cîțiva centimetri cubi). Măsurările sînt posibile atît într-un lichid în stare de repaus, cît și într-un lichid aflat în stare de curgere.

Aspectul exterior al aparatului este arătat în fig. 10.40.

CAPITOLUL 11

APARATE CU ULTRASUNETE PENTRU SUPRAVEGHERE, CONTROL ȘI MĂSURĂRI ÎN GAZE

11.1. GENERALITĂȚI

Într-un mediu gazos ultrasunetele sînt folosite în scopuri de control și măsurare, la analiza gazelor, determinarea distanțelor etc.

Analizoarele de gaze cu ultrasunete pot fi folosite pentru controlul diferitelor amestecuri gazoase, de pildă de metan, hidrogen sau vapori grei (bromură de metil, hidrocarburi etc.) și aer.

Analizoarele de gaze cu ultrasunete sînt cele mai adecvate pentru măsurarea impurităților cu greutate moleculară mare într-un gaz care posedă o greutate moleculară mică și invers. Analizoarele de gaze de acest fel sînt aparate sensibile pentru măsurarea diferențelor de greutate moleculară ale unui gaz sau unor vapori, sau în cazul unui gaz amestecat — pentru măsurarea valorii medii a greutății moleculare.

Există multe scheme și construcții diferite de aparate cu ultrasunete care dau posibilitatea nu numai să se determine natura diverselor gaze, dar și să se descopere chiar cantități infime din aceste gaze în aer.

După cum se știe, viteza sunetului într-un amestec gazos este cuprinsă între valorile vitezelor sunetului în cele două gaze care compun amestecul și este determinată de expresia

$$C^2 = \frac{RT}{xM + (1-x)M} \cdot \frac{xC_p + (1-x)C'_p}{xC_v + (1-x)C'_v},$$

în care: M și M' sînt greutățile moleculare ale ambelor gaze;
$C_P; C'_P; C_V; C'_V$ — capacitățile calorice specifice;
x este concentrația uneia dintre componente;
R — constanta gazelor;
T — temperatura absolută.

Pornind de la formula dată mai sus, poate fi calculată proporția de gaze din amestecul respectiv, măsurîndu-se viteza.

În tabela 11.1 sînt date valorile vitezei sunetului în unele gaze, la temperatură și presiune normale. Firește, cu cît diferența dintre vitezele sunetului în cele două gaze este mai mare, cu atît ele pot fi deosebite mai ușor.

TABELA 11.1

Gazul	Viteza m/s	Gazul	Viteza m/s
Aer	331,6	Clor	205
Bioxid de carbon	258,3	Metan	429,2
Odix de carbon	337,4	Oxigen	315

Dacă un traductor-emiţător şi unul receptor de vibraţii acustice sînt aşezate unul faţă de altul la o distanţă d, timpul în care sunetul parcurge această distanţă va fi egal cu $t_1 = d/C_1$, unde C_1 este viteza de propagare a sunetului.

Dacă se înlocuieşte un gaz cu celălalt, viteza de propagare va fi C_2 şi atunci timpul de parcurgere va avea valoarea $t_2 = d/C_2$.

Diferenţa de timp

$$\Delta t = t_1 - t_2 = d\left(\frac{1}{C_1} - \frac{1}{C_2}\right),$$

exprimată ca un unghi de fază θ între semnalul transmis şi cel recepţionat, poate fi reprezentată sub forma $\theta = 2\pi\ fd\ (1/C_1 - 1/C_2)$, în care f este frecvenţa pe care funcţionează traductorul-emiţător.

Se ştie că particulele aflate în suspensie în gaze (în aer) intensifică absorbţia şi dispersia undelor ultrasonore şi acest fapt dă posibilitatea să se utilizeze ultrasunetele pentru crearea unor aparate care măsoară gradul de concentraţie a prafului din atmosferă.

Capacitatea undelor ultrasonore de a putea fi radiate dirijat în gaze şi reflectate de limitele de separaţie gaz-obstacol este folosită într-o serie întreagă de aparate care măsoară în aer (sau într-un mediu gazos) distanţa de la traductorul-emiţător pînă la obstacol, precum şi pentru descoperirea obstacolului. Aparatele de măsurat distanţa, bazate pe acest principiu, funcţionează în mod obişnuit prin metoda ecoului. Se cunosc de asemenea aparate acustice de măsurat presiunea, temperatura şi mulţi alţi parametri ai unui mediu gazos, a căror utilizare reprezintă o tendinţă cu perspective vaste în tehnica măsurărilor.

11.2. APARATAJ CU ULTRASUNETE PENTRU ANALIZA GAZELOR ŞI DETERMINAREA CONCENTRAŢIEI DE PRAF

Analizorul de gaze УЗГ. În fig. 11.1 este reprezentată schema-bloc a unui aparat cu ultrasunete care permite să se determine conţinutul de metan şi de alte gaze în atmosferă.

Într-o cameră acustică închisă, de formă cilindrică, sînt amplasate două traductoare piezoelectrice din titanat de bariu. Unuia dintre aceste traductoare, care funcţionează ca emiţător de vibraţii ultrasonore, i se aplică ten-

siune de la un oscilator electronic. Celălalt traductor piezoelectric serveşte drept receptor de vibraţii ultrasonore, transformînd semnalele acustice în semnale de tensiune alternativă de aceeaşi frecvenţă. Semnalele amplificate de un amplificator se aplică apoi unei punţi redresoare şi unui instrument cu ac indicator.

Camera care este prevăzută cu un dispozitiv special permite deplasarea traductorului-emiţător şi celui receptor în aşa fel, încît distanţa dintre suprafeţele lor active să fie un multiplu de $\lambda/2$.

În aceste condiţii, între suprafeţele active se stabileşte un regim de unde staţionare, prin urmare va avea loc şi o acţiune acustică maximă asupra receptorului. Acest lucru provoacă apariţia tensiunii maxime la instrumentul indicator.

Stabilind regimul de unde staţionare atunci cînd în cameră există aer atmosferic, lipsit de impurităţi gazoase, se poate obţine deviaţia maximă a acului instrumentului indicator, care corespunde punctului de zero al scării.

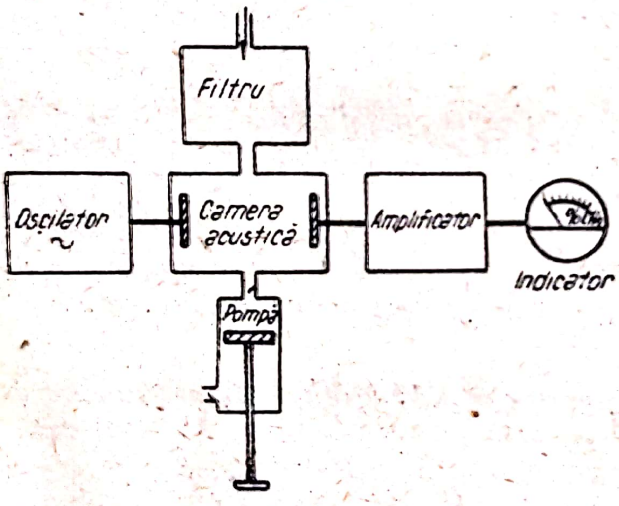


Fig. 11.1. Schema-bloc a unui analizor de gaze cu ultrasunete

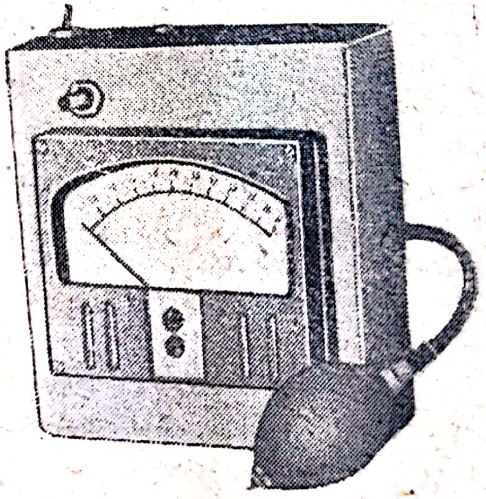


Fig. 11.2. Aspectul exterior al analizorului de gaze cu ultrasunete, de laborator.

Cînd în cameră se introduce aer atmosferic cu un adaos de gaz studiat (în particular, metan), densitatea mediului de gaz şi aer care se găseşte în cameră se modifică, ceea ce provoacă şi variaţia vitezei de propagare şi a lungimii de undă a sunetelor. Regimul de unde staţionare se modifică şi el, fapt datorită căruia cantitatea de energie care ajunge la suprafaţa traductorului-receptor se va micşora; acest lucru va fi indicat de deviaţia acului instrumentului indicator.

Analizorul de gaze se compune dintr-o cameră de măsurare prevăzută cu filtru şi o pompă, un generator, un amplificator, surse de alimentare şi un instrument cu ac indicator, toate aceste părţi componente fiind montate într-o cutie comună. Aspectul exterior al aparatului este arătat în fig. 11.2.

Principalul element activ al aparatului este camera acustică.

Două ştuţuri care se află pe pereţii laterali ai camerii asigură introducerea amestecului de gaz şi aer, refulat de pompă. În legătură cu faptul că metoda cu ultrasunete pentru analiza gazelor nu este suficient de selectivă, înainte de intrarea în cameră amestecul de aer şi gaz studiat este purificat, cu ajutorul unor filtre, de umezeală, praf şi impurităţi.

Schema electrică a aparatului este reprezentată în fig. 11.3.

Oscilatorul este realizat cu un transistor П1Е.

Reglarea oscilatorului pentru funcţionarea pe frecvenţa de rezonanţă a traductoarelor se efectuează prin variaţia capacităţii condensatorului de ajustare C şi a inductanţei L. Din componenţa circuitului acordat fac parte şi capacităţile traductoarelor de titanaţi de bariu *TTB*. Oscilatorul este alimentat cu o

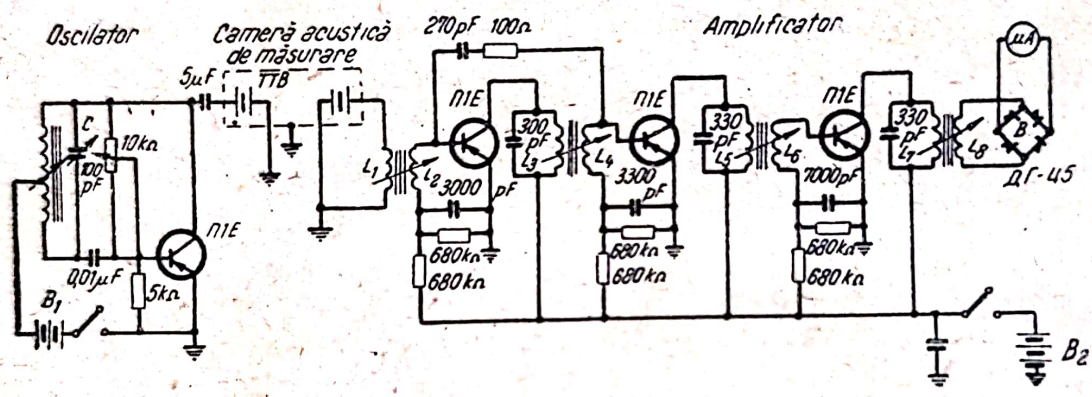


Fig. 11.3. Schema de principiu a analizorului de gaze cu ultrasunete de laborator.

tensiune continuă de 3,5 V, la un curent de 4 mA şi dezvoltă la bornele traductoarelor o tensiune de 3 V cu frecvenţa de 165 kHz.

Amplificatorul este alcătuit din trei etaje realizate cu tranzistoare П1Е. Sarcinile sînt circuite rezonante acordate pe frecvenţe de rezonanţă de 164—166 kHz.

Pentru alimentarea oscilatorului se utilizează trei elemente OP-4 cu capacitatea de 2,5 Ah.

Pentru alimentarea amplificatoarelor se folosesc două elemente identice. Generatorul şi amplificatorul sînt alimentate de la baterii independente, cu scopul de a se elimina influenţele electrice reciproce.

Drept instrument indicator se utilizează un microampermetru de curent continuu.

În funcţie de frecvenţa aleasă şi de distanţa dintre traductoarele piezoelectrice, scara instrumentului poate fi etalonată între limitele necesare în practică (0—1%; 0—5%; 0—10% etc.).

Eroarea de temperatură a aparatului se corectează cu ajutorul unei scări de corecţie care determină valoarea unei diviziuni a scării în funcţie de tem-

Scanned with OKEN Scanner

peratură. Influenţa variaţiilor de temperatură asupra indicaţiilor aparatului poate fi eliminată folosind un termostat.

Analizor de gaze cu cameră termostatată. În ultimpul timp a fost creat un analizor de gaze a cărui cameră de măsurare este termostatată. Acest aparat este de tip staţionar şi serveşte la controlul automat al compoziţiei amestecurilor de gaze. El are borne pentru conectarea unor aparate înregistratoare şi pentru semnalizarea pragului de concentraţie impus. Schema-bloc a aparatului este reprezentată în fig. 11.4, iar aspectul exterior în fig. 11.5.

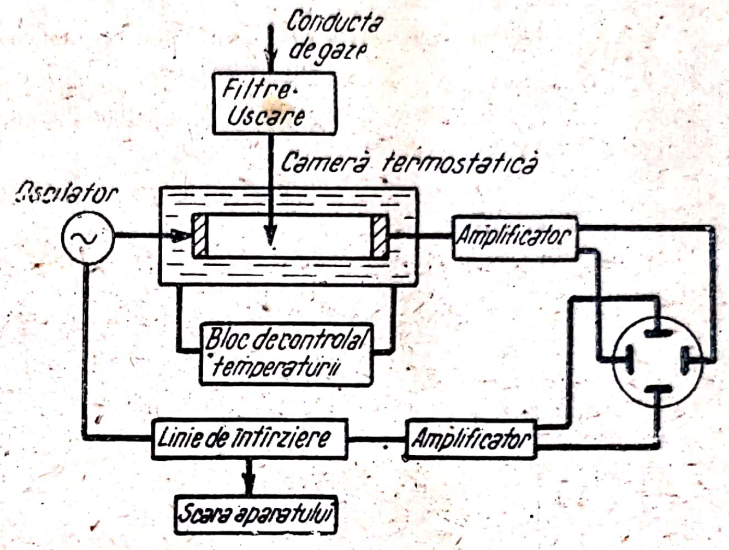


Fig. 11.4. Schema-bloc a analizorului de gaze cu ultrasunete.

Aparatul funcţionează pe frecvenţa de 165 kHz, are un bloc traductor detaşabil (cameră acustică cu filtru, pompă şi termostat) cu dimensiunile de 240×130 mm şi greutatea de 1,5 kg.

Prin însuşi principiul de funcţionare, aceste aparate lucrează practic fără inerţie, permit măsurări într-un curent de gaze şi pot fi utilizate (cu condiţia să existe termostatarea) drept traductoare pentru aparatele înregistratoare automate.

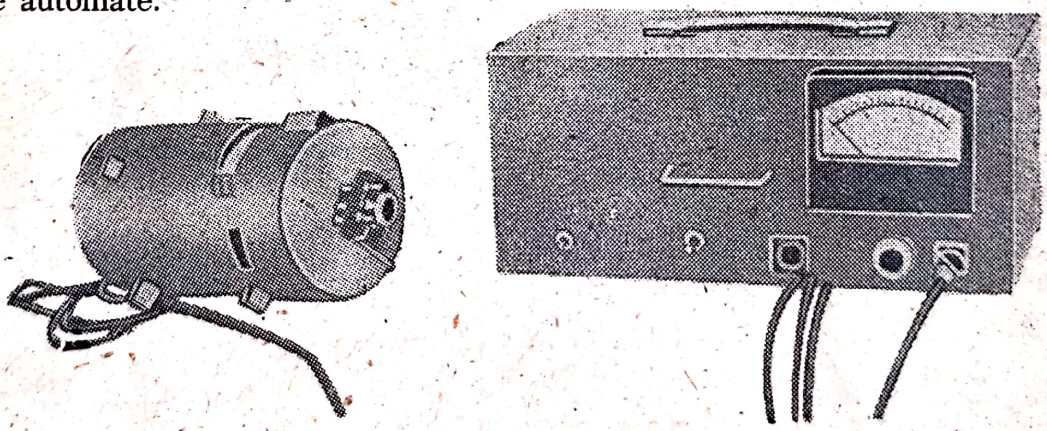


Fig. 11.5. Aspectul exterior al analizorului de gaze.

Aparatul cu ultrasunete pentru determinarea concentraţiei de praf АП-1 este un aparat de laborator pentru determinarea cantităţii de particule solide dintr-un mediu gazos. El se compune dintr-un generator care excită două traductoare piezoelectrice, montate în camerele acustice de măsurare (fig. 11.6).

În partea opusă a camerelor sînt montate traductoare piezoelectrice receptoare. Între camere a fost instalat un filtru de praf. Aerul este colectat de o pompă, printr-un orificiu de intrare.

Scanned with OKEN Scanner

Pompa poate fi înlocuită printr-un sistem de pompare continuă a aerului, cu viteză uniformă.

În timpul pompării aerului prin aparat, în prima cameră (cea inferioară) se va găsi aer cu praf, iar în cea de-a doua cameră (superioară) — aer fără praf, deoarece praful va fi oprit de către filtru.

Cîmpurile acustice din ambele camere, cînd în acestea nu există aer cu praf, vor fi identice şi la bornele traductoarelor-receptoare vor apărea tensiuni egale. Semnalele recepţionate sînt amplificate (de un amplificator cu două canale), detectate şi apoi ajung la un instrument indicator cu ac.

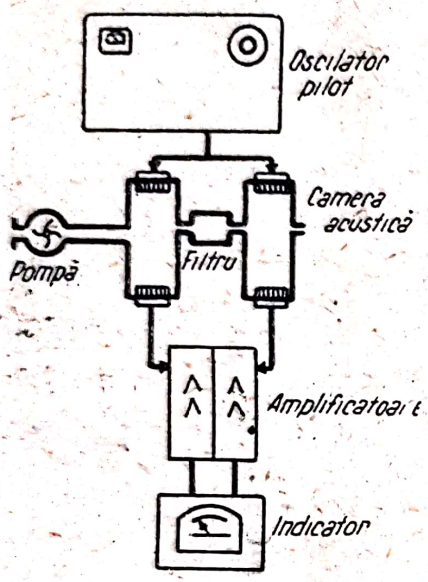


Fig. 11.6. Schema-bloc a aparatului acustic pentru măsurarea concentraţiei prafului.

Dacă nu există praf, instrumentul nu va indica nimic.

Dacă în camera de măsurare va exista aer cu praf, cîmpul acustic se va modifica în comparaţie cu cîmpul camerii, tensiunea de la bornele traductoarelor-receptoare nu va mai fi aceeaşi şi aparatul indicator va indica o diferenţă de tensiuni care constituie măsura concentraţiei de praf în aer.

Influenţa umidităţii, a temperaturii, a variaţiei compoziţiei amestecului de gaze, a presiunii etc., practic nu influenţează indicaţiile aparatului АП-1, deoarece el a fost construit conform schemei cu compensare.

Schema de principiu a aparatului АП-1 este reprezentată în fig. 11.7.

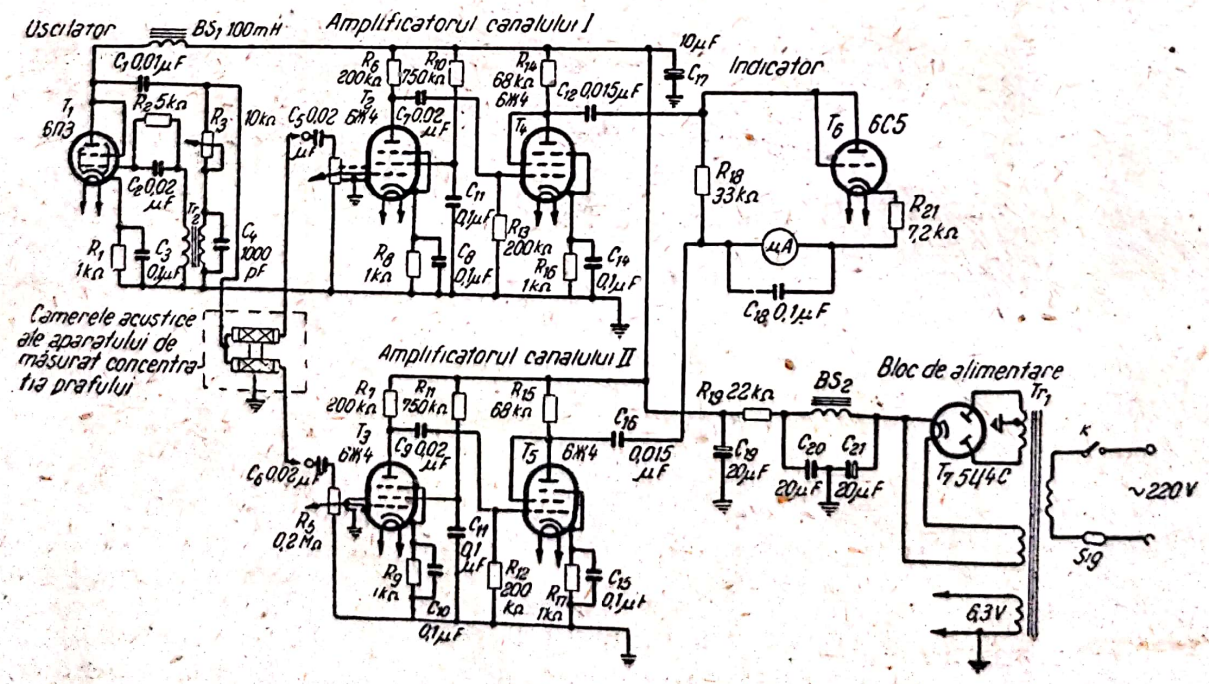


Fig. 11.7. Schema de principiu a aparatului acustic pentru măsurarea concentraţiei prafului.

Aparatul АП-1 poate fi utilizat pentru măsurarea continuă de la distanță a concentrației de praf în aer combinată cu înregistrarea indicațiilor de către un aparat înregistrator automat.

11.3. APARATAJ CU ULTRASUNETE PENTRU MĂSURAT DISTANȚE

Aparatul УЗП-2 este o instalație specială de localizare în spațiu destinată descoperirii obstacolelor din aer, care rezolvă problema telemăsurării distanțelor cu precizia necesară și înregistrează profilul continuu al unui perete, de pildă al puțului unei mine, pe scară verticală și orizontală, pe întreaga adîncime a puțului.

Esența determinării profilului puțurilor de mină cu ajutorul ultrasunetelor constă în următoarele. În puț (fig. 11.8, *a)* se deplasează cu viteză constantă (se coboară sau se urcă) un dispozitiv de emisie-recepție, alcătuit din două vibratoare magnetostrictive de tip НЭЛ-IV.

Capetele bobinajelor traductorului-emițător și ale celui receptor sînt conectate, electric, cu un aparat înregistrator care comandă momentul cînd traductoarele emit semnale acustice și înregistrează timpul de sosire la receptor a semnalului reflectat de peretele puțului. Cu ajutorul aparatului УЗП-2 se poate măsura intervalul de timp Δt necesar pentru ca semnalul acustic să parcurgă prin aer distanța de la planul traductorului pînă la peretele puțului și înapoi la planul traductorului-receptor.

Admițînd că viteza de propagare a vibrațiilor acustice în aer este de 342 m/s, la măsurarea unei distanțe de 1 m cu eroarea de 1 cm timpul Δt va fi egal cu $5\,840 \pm 58{,}4$ μs. Înregistrarea distanțelor măsurate se face cu un montaj analog celui folosit în instalațiile hidroacustice.

Măsurarea distanțelor se face în modul următor.

Motorul electric *M* imprimă o mișcare de rotație axului unui tambur prevăzut cu cama *C*, care este montată în așa fel, încît pentru fiecare rotație a tamburului, în momentul cînd spirala trece pe sub linia de zero a hîrtiei de înregistrare — să se închidă contactul S. La închiderea contactului *S* circuitul condensatorului de descărcare *C* se închide prin bobinajul traductorului emițător; acest fapt provoacă emiterea unui semnal în mediul ambiant.

După timpul Δt necesar semnalului ultrasonor pentru parcurgerea distanței de la traductorul-emițător pînă la peretele puțului și apoi la traductorul-receptor, tamburul reușește să se rotească cu un unghi oarecare, a cărui valoare este cu atît mai mare, cu cît Δt este mai mare, adică cu cît distanța măsurată este mai mare. Din cauza acestei rotiri, contactul glisant de pe spirala *K* se va deplasa sub acțiunea regletei imprimate *RI* peste hîrtia de înregistrare de la zero la o indicație oarecare, unde se va înregistra momentul sosirii semnalului recepționat de traductorul-receptor.

Acest moment este înregistrat sub forma unui punct negru așezat pe fondul luminos al hîrtiei, de către impulsul incident.

Deoarece transmiterea semnalelor se face cu o anumită frecvenţă, iar hîrtia de înregistrare se deplasează cu o anumită viteză, totalitatea punctelor negre formează o linie continuă.

În cazul deplasării pe verticală a aparatului în puţul minei, cu viteză constantă, linia trasată pe hîrtia electrotermică va reproduce profilul peretelui puţului la o anumită scară pe verticală, care va fi egală cu raportul dintre viteza de deplasare a hîrtiei pentru diagrame şi viteza de deplasare pe verticală a instalaţiei de emisie-recepţie.

Întregul aparataj este montat într-o nacelă standard cu capacitatea de 1 m^3 (fig. 11.8, *b*).

În nacelă este instalat un aparat cu consolă tubulară; la capătul consolei este suspendată, pe o balama, instalaţia de emisie-recepţie, prevăzută cu două traductoare magnetostrictive. Găsindu-se în nacelă, operatorul are posibilitatea de a ridica şi coborî consola, de a o roti în plan orizontal, precum şi de a regla suprafaţa radiantă a traductoarelor magnetostrictive.

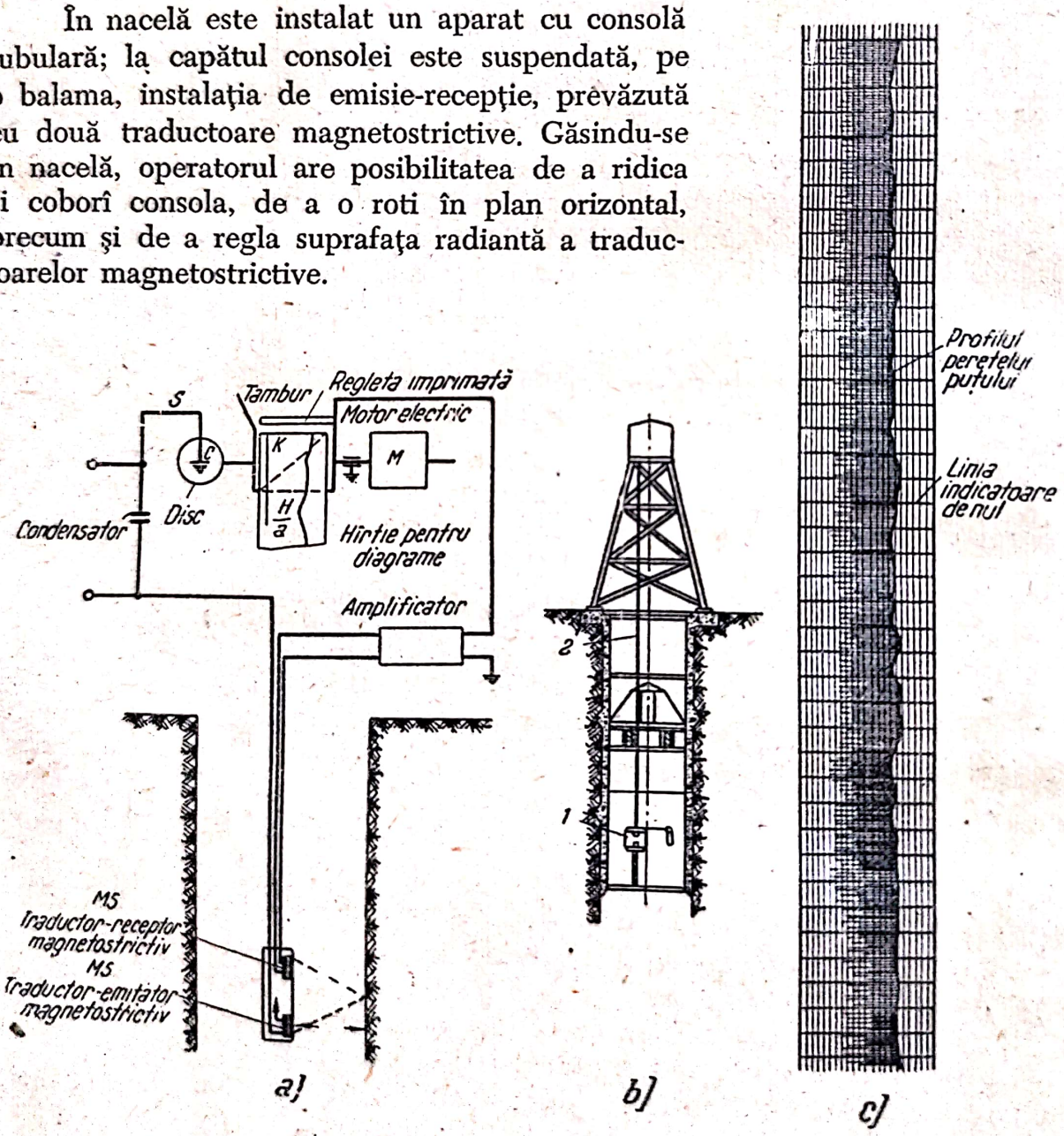


Fig. 11.8. Aparatul cu ultrasunete УЗП-2:
a — schemă-bloc ilustrînd funcţionarea instalaţiei; *b* — amplasarea aparatului УЗП-2 în puţul minei; *c* — model de înregistrare a profilului puţului.

În nacelă este montată sursa de alimentare a aparatului: baterii de acumulatoare cu tensiunea de 24 V, generatorul de tensiune și aparatul de înregistrare.

În fig. 11.8, *c* este arătat profilul unui puț de mină, înregistrat cu un aparat УЗП-2.

Schema de principiu a aparatului УЗП-2 este reprezentată în fig. 11.9 (v. planșa de la sfîrșitul cărții).

Alimentarea aparatului se face de la bateria de acumulatoare *BA* prin intermediul convertizoarelor vibratoare CV_1 și CV_2, care transformă — prin intermediul transformatoarelor Tr_5 — tensiunea joasă a bateriilor de acumulatoare într-o tensiune ridicată pentru alimentarea circuitelor anodice și de ecran ale tuburilor electronice.

Traductorul emițător *TE* primește impulsurile curentului de descărcare ale condensatorului C_{17} prin tubul de descărcare T_5 comandat de tiratronul T_{10}.

Amplificatorul are trei etaje (tuburile T_1, T_2, T_4) cu intrare prin transformator, acordate pe frecvența primei armonice a traductorului magnetostrictiv. Amplificarea are loc într-o bandă îngustă, în jurul frecvenței de 21,5 kHz a primei armonice a semnalului traductorului-receptor.

Caracteristicile tehnice ale aparatului sînt următoarele: diametrul puțurilor profilate, 4,5—8 m; adîncimea puțurilor profilate, pînă la 1 000 m; deschiderea maximă a consolei față de peretele nacelei, 1 260 mm; greutatea totală a nacelei cu aparataj 937 kg; greutatea instalației de emisie-recepție 28,7 kg; distanța dintre traductoarele magnetostrictive și bază 250 mm; acumulatoarele de alimentare 3CT98; scara verticală de înregistrare 1 : 200; 1 : 400; scara de înregistrare pe orizontală 1 : 20; eroarea de măsurare ± 20 mm.

Aparatul АУ-1[1]) este o instalație de localizare în spațiu prin metoda ecoului, care servește la măsurarea — într-un mediu gazos — a distanței dintre traductorul-emițător și un obstacol (de exemplu un nivel).

Construcția traductorului asigură etanșeitatea instalației și este calculată pentru o presiune pînă la 5 at în interiorul cuvei de măsură.

Aparatul funcționează pentru o temperatură în interiorul volumului cuprinsă între limitele 0—100°C și o temperatură a aerului ambiant din încăperea în care a fost montat aparatului secundar, de la 10 pînă la 40°C.

Distanța de la traductor pînă la aparatul secundar este de cel mult 100 m. Gama distanțelor măsurate este de $5 \pm 0{,}5$ m, cu o eroare care nu depășește $\pm 2\%$.

Valoarea distanței măsurate se citește pe scara microampermetrului. Aparatul are o ieșire suplimentară pentru conectarea potențiometrului electronic de orice tip.

Alimentarea aparatului se face de la o rețea de curent alternativ de frecvență industrială, cu tensiunea de 220 V, puterea absorbită nedepășind 200 VA.

---

[1]) Realizat de *O. Babikov* și colaboratorii lui.

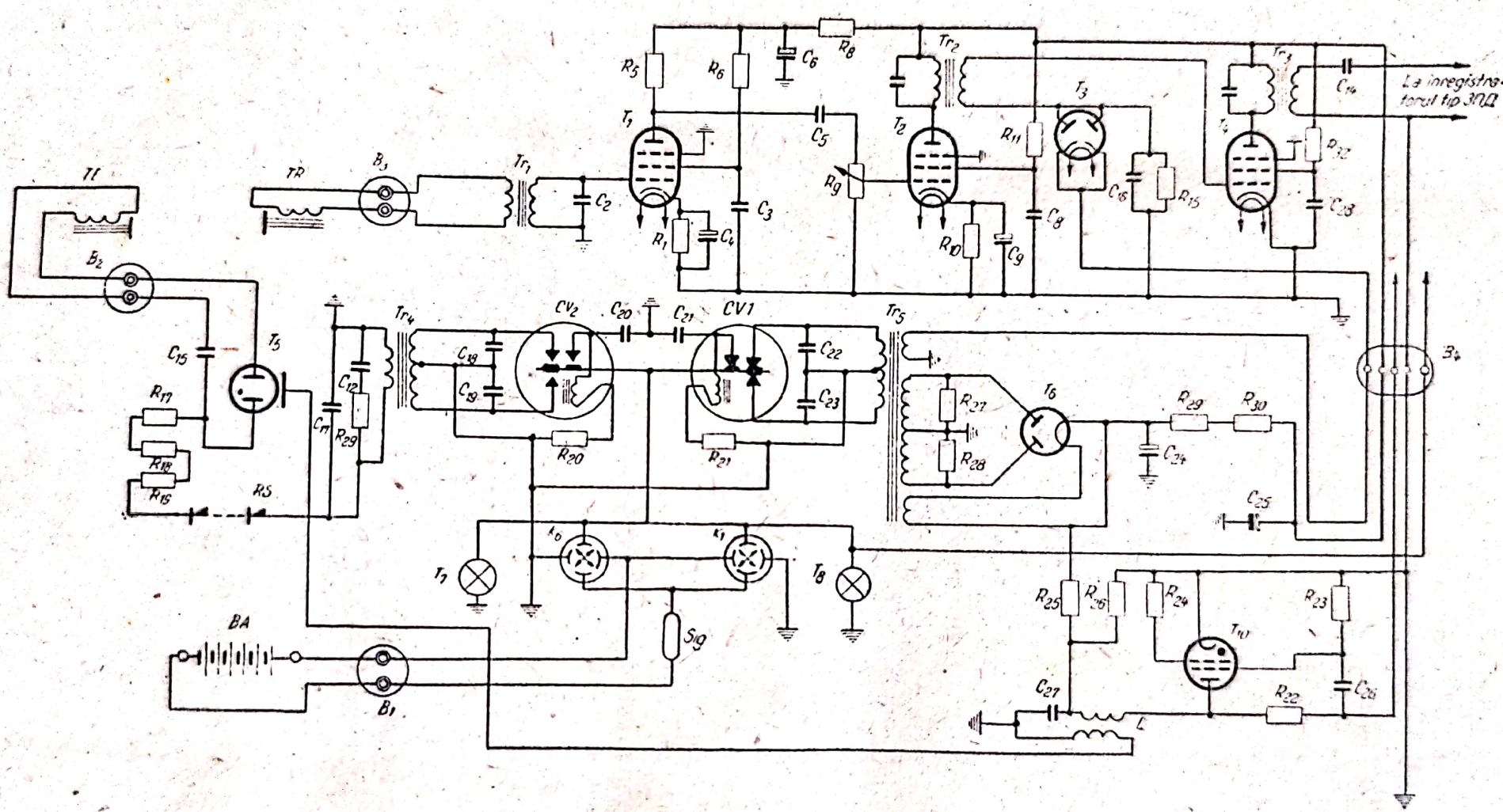


Fig. 11.9. Schema de principiu a aparatului УЗП-2.

Funcționarea aparatului АУ-1 se bazează pe principiul localizării unui obiect prin impulsuri. Schema-bloc a aparatului este reprezentată în fig. 10.10. Multivibratorul este sincronizat de tensiunea de 50 Hz aplicată de la rețea și generează impulsuri de formă dreptunghiulară care se aplică unui etaj de formare și sînt transformate în impulsuri cu durata de 3—5 ms. Aceste impulsuri se aplică unui oscilator pilot cu excitație prin impuls de șoc, care produce trenuri de unde de înaltă frecvență (de ordinul 9—10 kHz), a căror înfășurătoare are o formă dreptunghiulară. Prin intermediul unui etaj inversor de fază, aceste oscilații se aplică etajului de ieșire, care este un amlificator de oscilații modulate. Etajul de ieșire aplică traductorului-emițător impulsuri de scurtă durată, care sînt transformate în impulsuri ultrasonore. Impulsurile

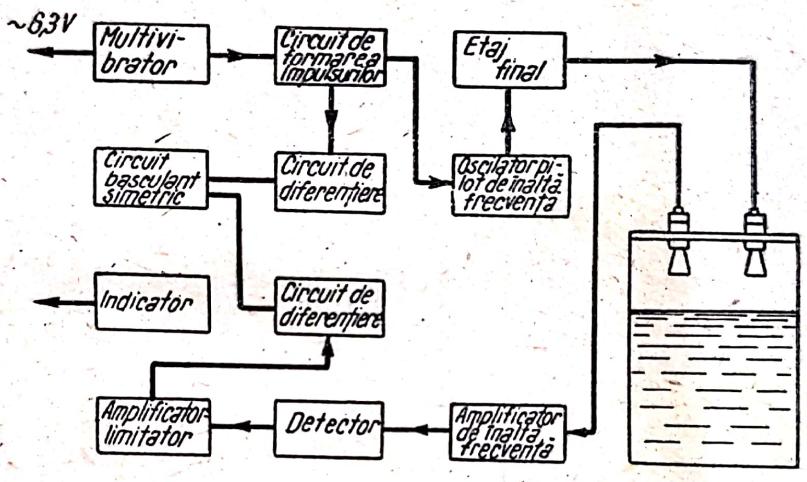


Fig. 11.10. Schema-bloc a aparatului А У-1.

ultrasonore, ajungînd pînă la limita de separație, se reflectă și — sosind la traductorul de recepție-produc în bobina traductorului un impuls electric. Acest impuls este amplificat de un amplificator de înaltă frecvență, este detectat și se aplică apoi unui amplificator-limitator. Amplificatorul-limitator formează din impulsul recepționat un impuls de formă dreptunghiulară, care este diferențiat și, cu ajutorul unei diode, este aplicat cu polaritate negativă la grila unuia dintre tuburile unui circuit basculant simetric. La grila celui de-al doilea tub al circuitului basculant se aplică, în același mod, impulsul negativ obținut ca rezultat al diferențierii impulsului primit de la circuitul de formare care urmează după multivibrator.

Perioada de timp care se scurge între sosirea, la circuitul basculant simetric, a impulsului de la circuitul de formare și sosirea impulsului de la amplificatorul-limitator, este aproximativ egală cu timpul necesar impulsului ultrasonor pentru a parcurge distanța de la traductorul de emisie pînă la obstacol și înapoi la traductorul de recepție, adică în cazul cînd viteza de propagare a vibrațiilor ultrasonore esete constantă, această perioadă de timp este proporțională cu distanța de la traductor pînă la limita de separație.

Instrumentul indicator produce o tensiune proporţională cu acest interval de timp.

Deoarece această tensiune este proporţională cu distanţa de la traductor pînă la obstacol, iar în condiţii industriale este mai comod ca citirea distanţei să fie făcută de la obstacol la traductor, în montajul indicatorului s-a prevăzut compensarea acestei tensiuni cu o negativare luată de la potenţiometrele „reglarea punctului de zero". Schema de principiu a aparatului АУ-1 este reprezentată în fig. 11.11. (v. planşa de la sfîrşitul cărţii).

Aspectul exterior al părţii electronice a aparatului este arătat în fig. 11.12. Drept traductoare-emiţătoare şi receptoare, în aparat s-a folosit un bloc АД-3 alcătuit din două traductoare electroacustice identice, montate pe o flanşă

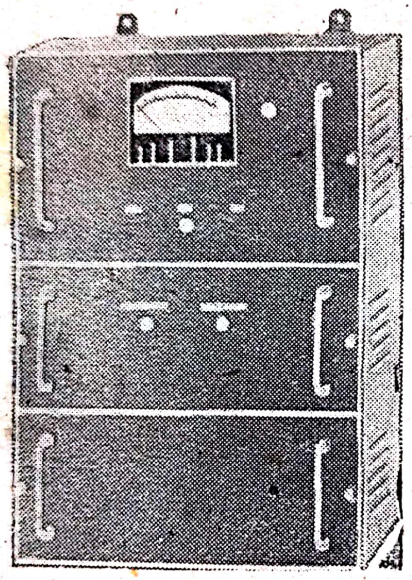


Fig. 11.12. Aspectul general al aparatului АУ-1.

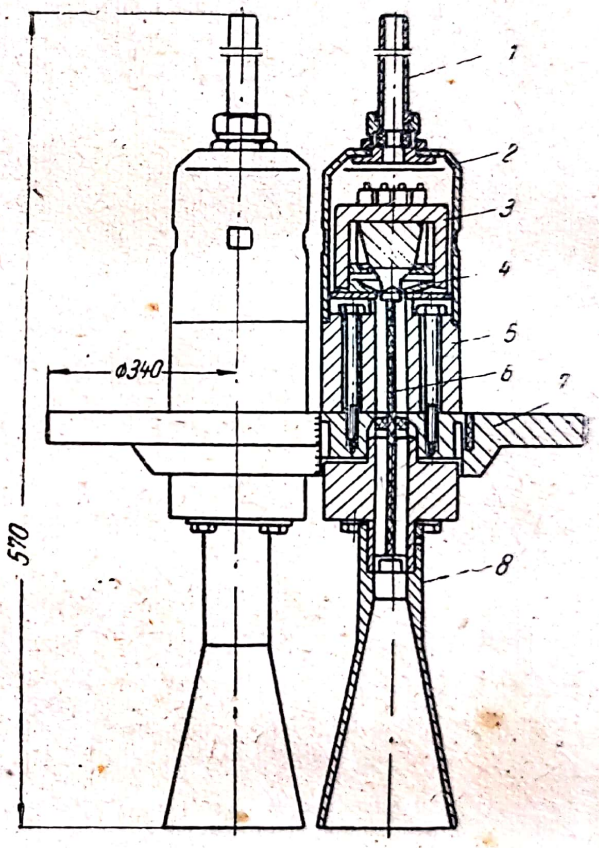


Fig. 11.13. Aspectul general al traductorului acustic al aparatului АУ-1:

1 — tub; *2* — carcasă; *3* — magnet; *4* — bobinaj; *5* — bază; *6* — bara vibratorului; *7* — placa flanşei; *8* — transformator acustic (pîlnie)

comună. Traductoarele sînt nişte vibratoare de formă complexă, în $\lambda/2$, excitate pe cale electrodinamică.

Pentru îmbunătăţirea caracteristicii de directivitate a traductoarelor au fost folosite pîlnii de formă specială. Aspectul general al blocului acustic este arătat în fig. 11.13.

Aparatul 3П este un aparat portabil pentru măsurarea pe cale acustică a distanţelor. Schema aparatului este reprezentată în fig. 11.14. Ecolotul portativ se compune dintr-o sursă de curent (de obicei o baterie uscată), un generator realizat cu un singur tub conform montajului cu autoexcitaţie şi un vibrator magnetostrictiv care este concomitent şi traductor-emiţător, şi

traductor-receptor. Pentru obținerea unei radiații dirijate s-a folosit un dispozitiv de focalizare de tip pîlnie. Toate subsansamblurile aparatului sînt montate într-o cutie compactă, transportabilă, iar drept instrument indicator se folosește un instrument cu ac indicator. La acest aparat s-a prevăzut posibilitatea detectării auditive a obstacolului cu ajutorul unor căști telefonice. Indicația acustică se realizează cu ajutorul modulației de frecvență, prin variația curentului semnalului recepționat.

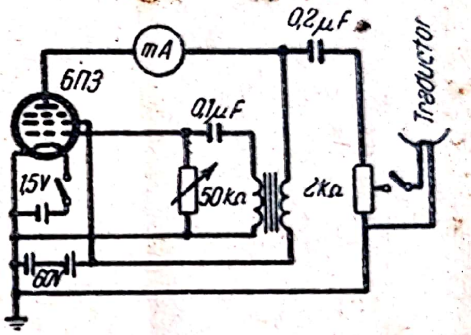


Fig. 11.14. Schema de principiu a unui ecolot portativ.

Aparatajul ultrasonor și diversele aparate cu ultrasunete de fabricație sovietică, prezentate în cartea de față, încep să fie utilizate din ce în ce mai mult în diferite ramuri ale economiei naționale. Fără îndoială, perfecționarea acestor tipuri și crearea unor tipuri noi de echipament și aparate cu ultrasunete, precum și introducerea lor în industrie, vor contribui la ridicarea continuă a nivelului mecanizării și automatizării industriei din U.R.S.S.

BIBLIOGRAFIE

1. Д. В. Рэлей (Стрэтт), Теория звука, Гостехиздат, 1955 г.
2. У. Кэди, Пьезоэлектричество и его практические применения, Изд. иностр. лит., М., 1949 г.
3. Л. Бергман, Ультразвук и его применение в науке и технике. Изд. Иностр. лит., М., 1957 г.
4. А. Э. Кроуфорд, Ультразвуковая техника. Изд. иностр. лит., М., 1958.
5. Heuter T., Bolt H., Sonics. Techniques for the use of sound and ultrasound in engineering and science. New York, Wiley; London, Chapman and Hall, 1955.
6. Л. Д. Розенберг, Применение ультразвука, Изд. АН СССР, М., 1957 г.
7. В. М. Фридман, Звуковые и ультразвуковые колебания и их применение в промышленности, Гизлегпром, М., 1957.
8. В. А. Красильников, Звуковые и ультразвуковые волны в воздухе, воде и твердых телах, Физматгиз, 1960.
9. О. И. Бабиков, Ультразвук и его применение в промышленности, Физматгиз, М., 1958 г.
10. И. И. Теумин, Ультразвуковые колебательные системы, Машгиз, М., 1959 г.
11. В. С. Соколов, Дефектоскопия материалов. Госэнергоиздат М. — Л., 1957 г.
12. Труды Всесоюзной конференции по использованию ультразвуковой техники в промышленности. Изд. МДНТП, М., 1957 г.
13. Сборники докладов Всесоюзной научно-технической конференции по применению ультразвука в промышленности, Изд. Центр. института научно-технической информации электротехнической промышленности и приборостроения, М., 1960 г

Scanned with OKEN Scanner

Redactor responsabil: ing. Varia Mihai
Tehnoredactor: Gorun Edy

Dat la cules: 10. 02. 1962. Bun de tipar: 16. 06. 1962. Apărut: 1962 Tiraj: 1500+110+15 legate. Hîrtie semivelină de 65 g/m². Format: 70×100/16. Coli editoriale: 30,80, Coli de tipar: 25,50. Planșe: tipar 8. A.: 0376/1962. C.Z. pentru bibliotecile mari: 534.321.9:681.2. C.Z pentru bibliotecile mici: 534.

Tiparul executat sub com. nr. 656 la Întreprinderea Poligrafică Oradea, str. Moscovei nr. 5. 6—8. — R.P.R.

357

Scanned with OKEN Scanner

ERATĂ

Pag.	Rîndul	În loc de	Se citește	Din vina
156	10 de jos	g/cm² s	g/cm s²	Editurii
188	3 de jos	5 at	0,5 at	Editurii
216	8 de jos	transformatoare	transportoare	Editurii
277	7 de sus	$\sqrt{1+\left(\frac{4\,\pi\,\rho_p\,r^2 f}{\rho\,\eta}\right)^2}$	$\sqrt{1+\left(\frac{4\,\pi\,\rho_p\,r^2 f}{9\,\eta}\right)^2}$	Tipografiei
345	20 de jos	o presă	o piesă	Tipografiei

Scanned with OKEN Scanner

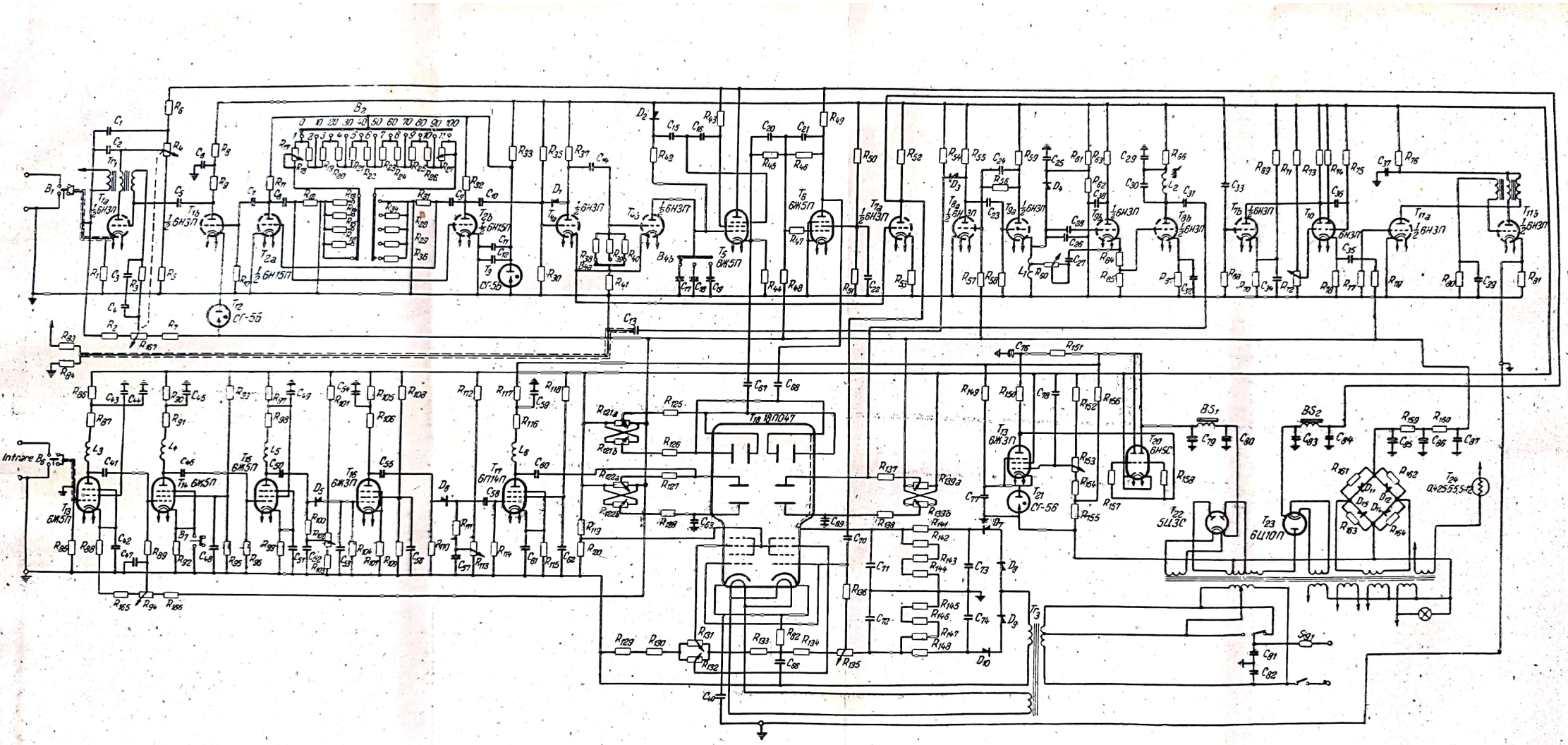
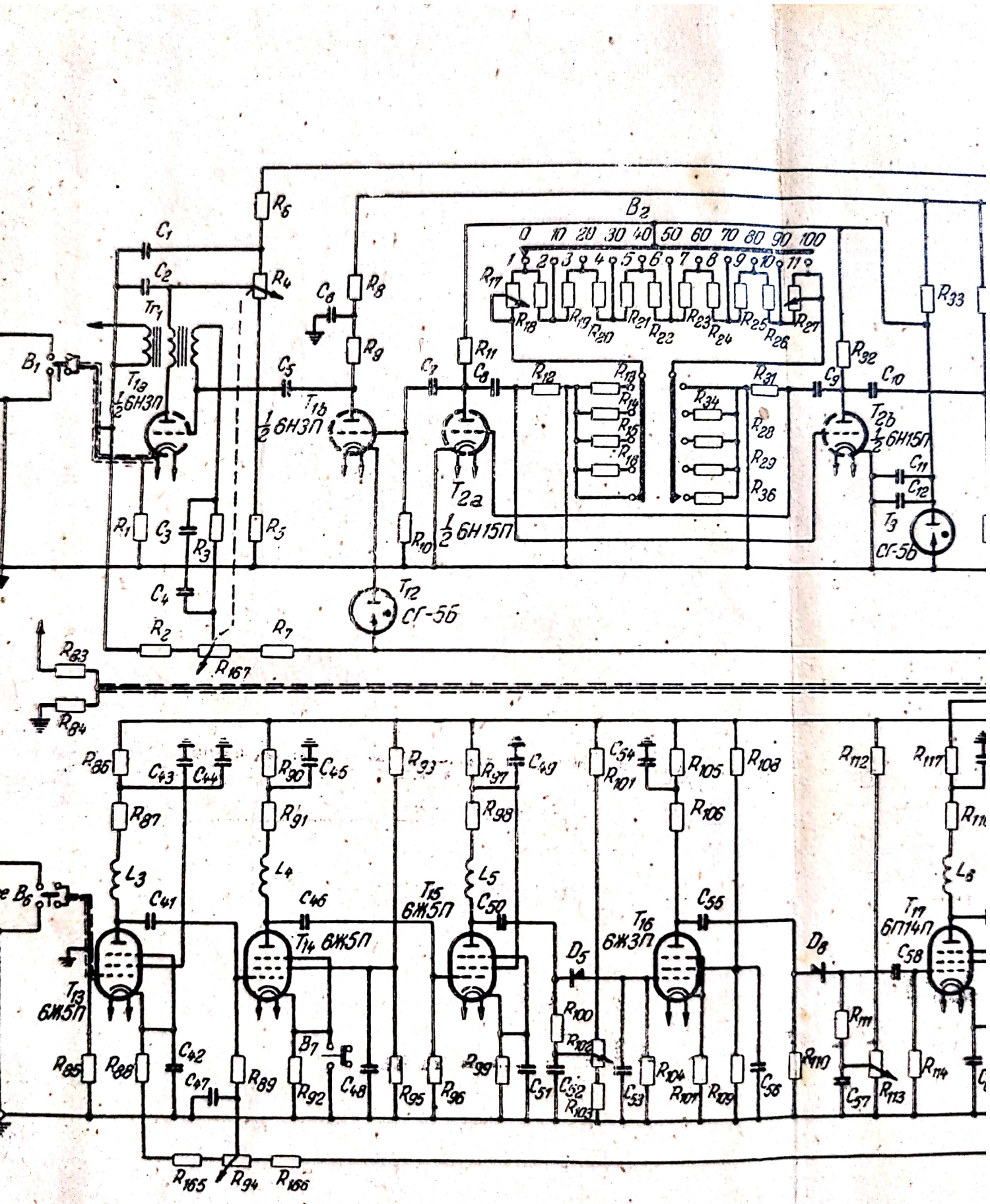


Fig. 10.7. Schema de principiu a aparatului УЗИС-6.

Scanned with OKEN Scanner


B2
0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11
B1
Tr1
T1a 1/2 6Н3П
T1b 1/2 6Н3П
T2a 1/2 6Н15П
T2b 1/2 6Н15П
T3 СГ-5Б
Tr2 СГ-5Б
B6
T13 6Ж5П
T14 6Ж5П
T15 6Ж5П
T16 6Ж3П
T17 6П14П
B7
D5
D6

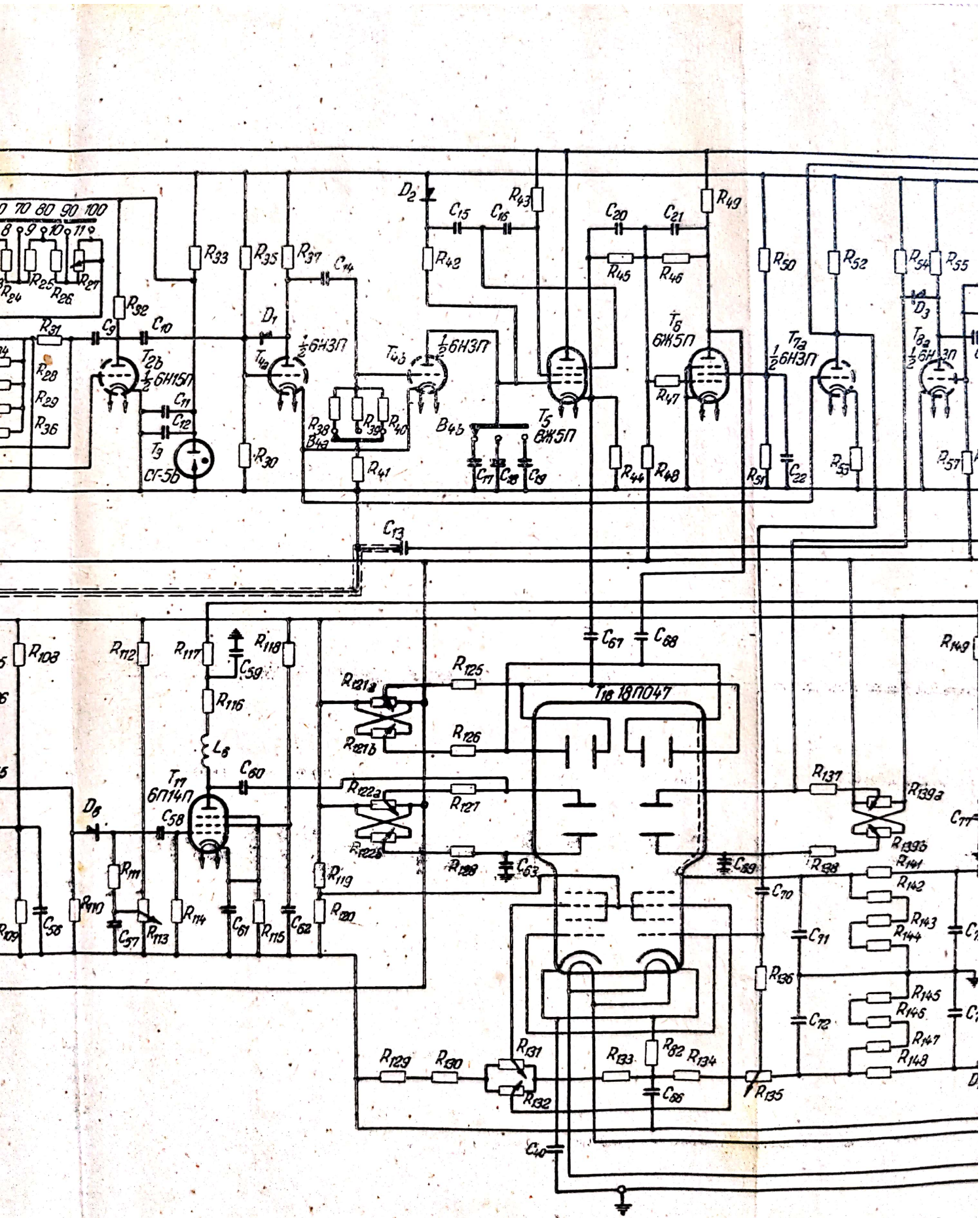
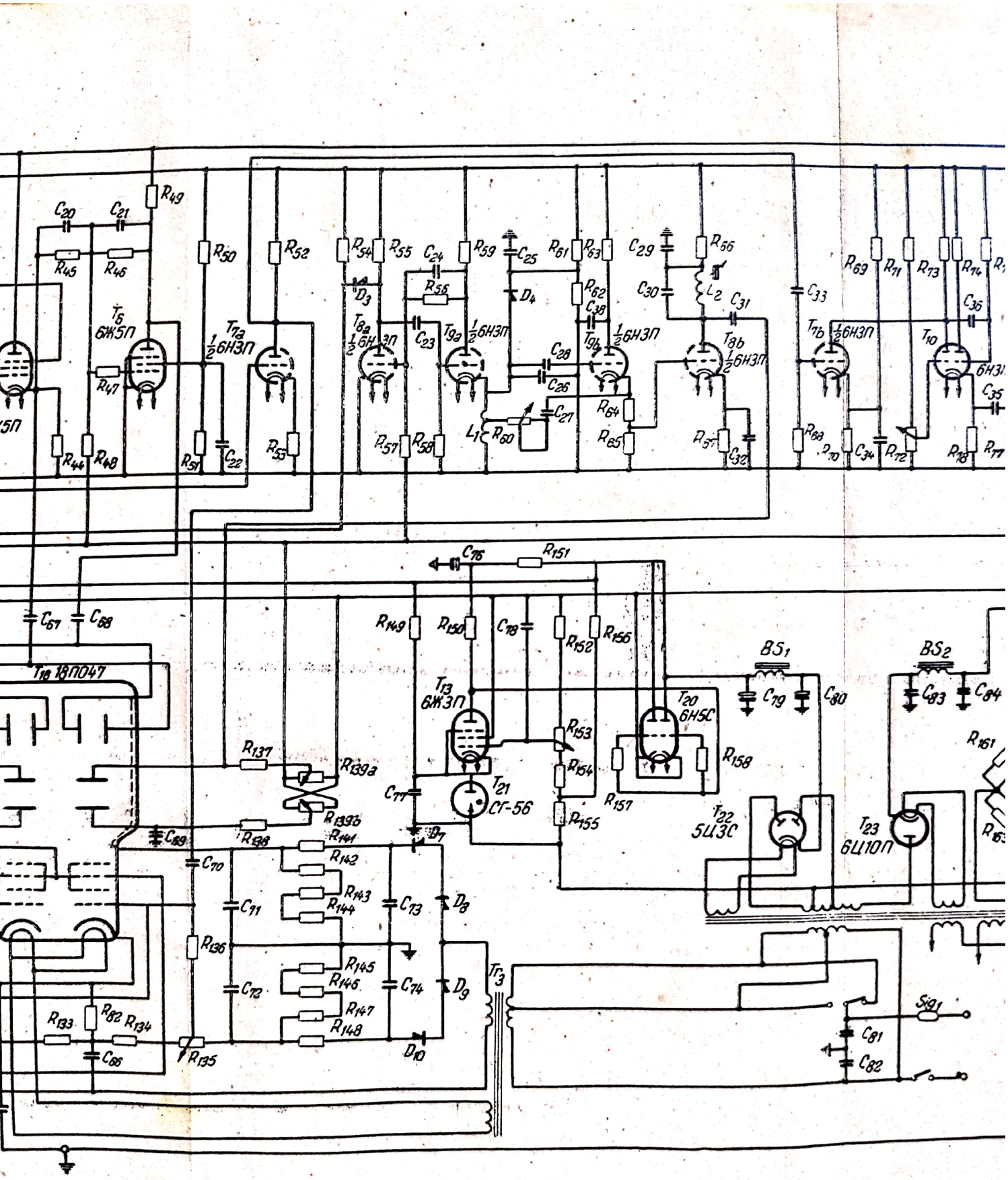
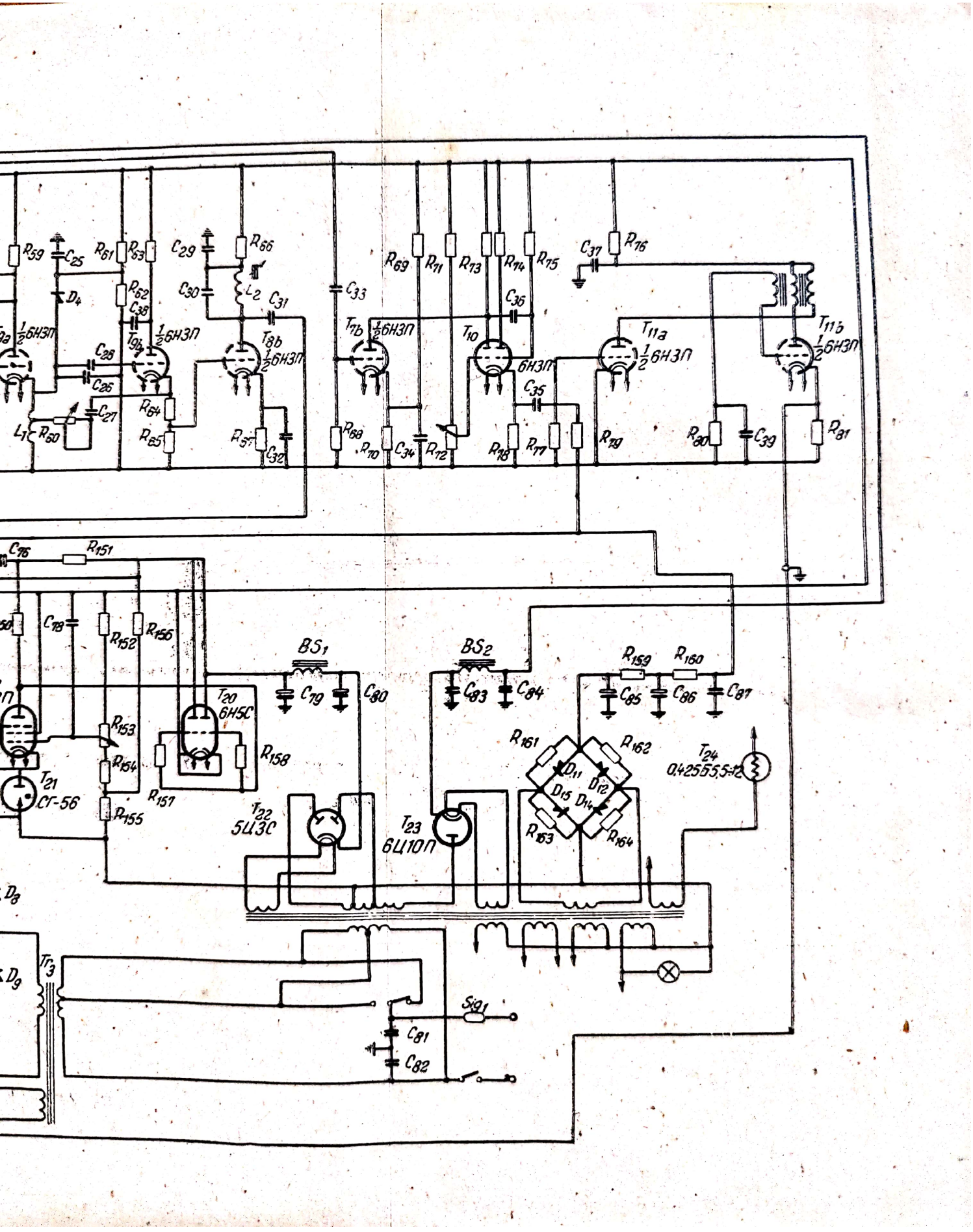


Fig. 10.7. Schema de principiu a aparatului УЗИС-6.

Scanned with OKEN Scanner



ig. 10.7. Schema de principiu a aparatului УЗИС-6.



R59
C25
R61
R63
C29
R66
R69
R71
R73
R74
R75
C37
R76
D4
R62
C38
C30
L2
C31
C33
C36
T7b
½6Н3П
T10
6Н3П
T11a
½6Н3П
T11b
½6Н3П
T8b
½6Н3П
C28
C26
C27
R64
R65
R67
C32
R68
R70
C34
R72
R78
R77
C35
R79
R80
C39
R81
L1
R60
C76
R151
C78
R152
R156
BS1
C79
C80
BS2
C83
C84
R159
R160
C85
C86
C87
T20
6Н5С
R153
R154
R155
R157
R158
T21
СГ-56
T22
5Ц3С
T23
6Ц10П
R161
R162
R163
R164
D11
D12
D15
D14
T24
0,42555,5÷12
D8
D9
Tr3
Sig1
C81
C82

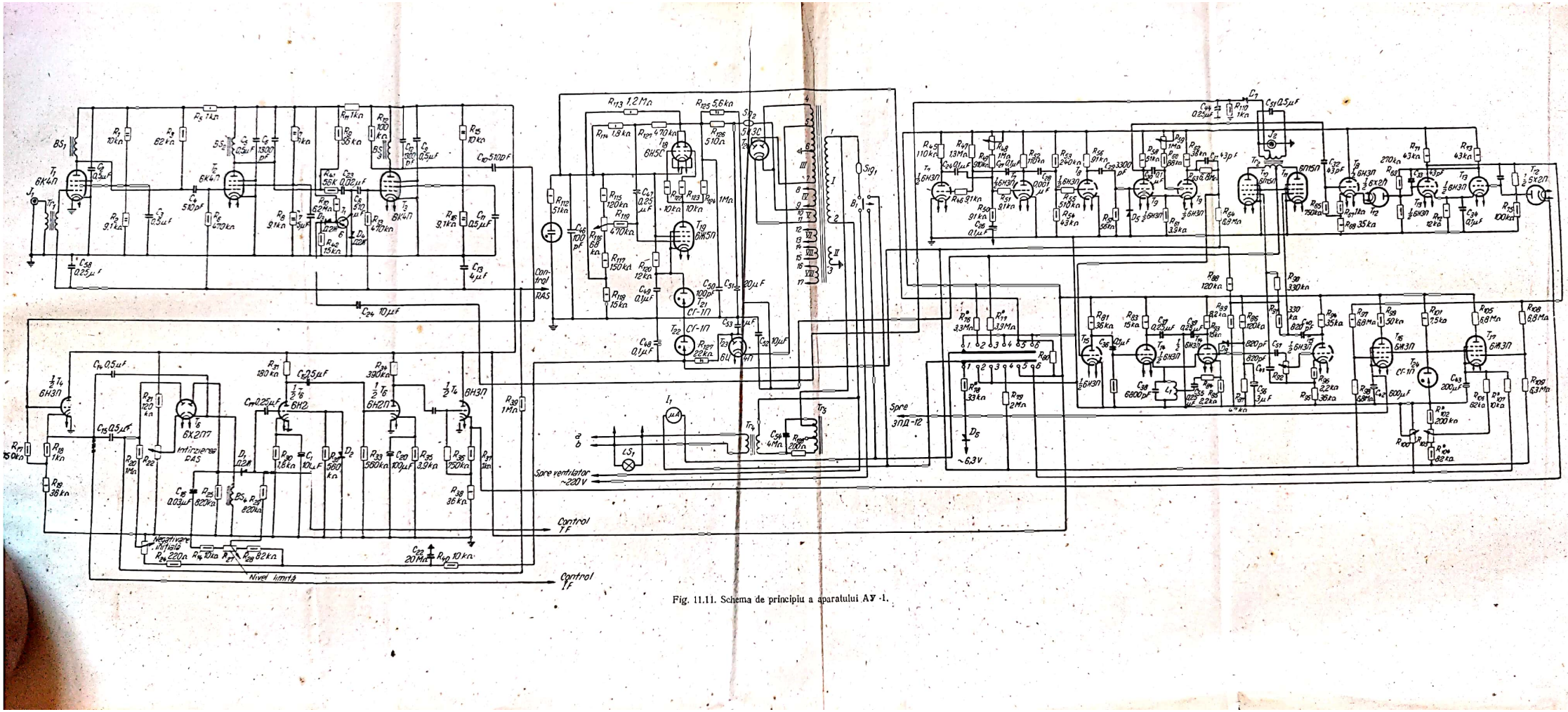
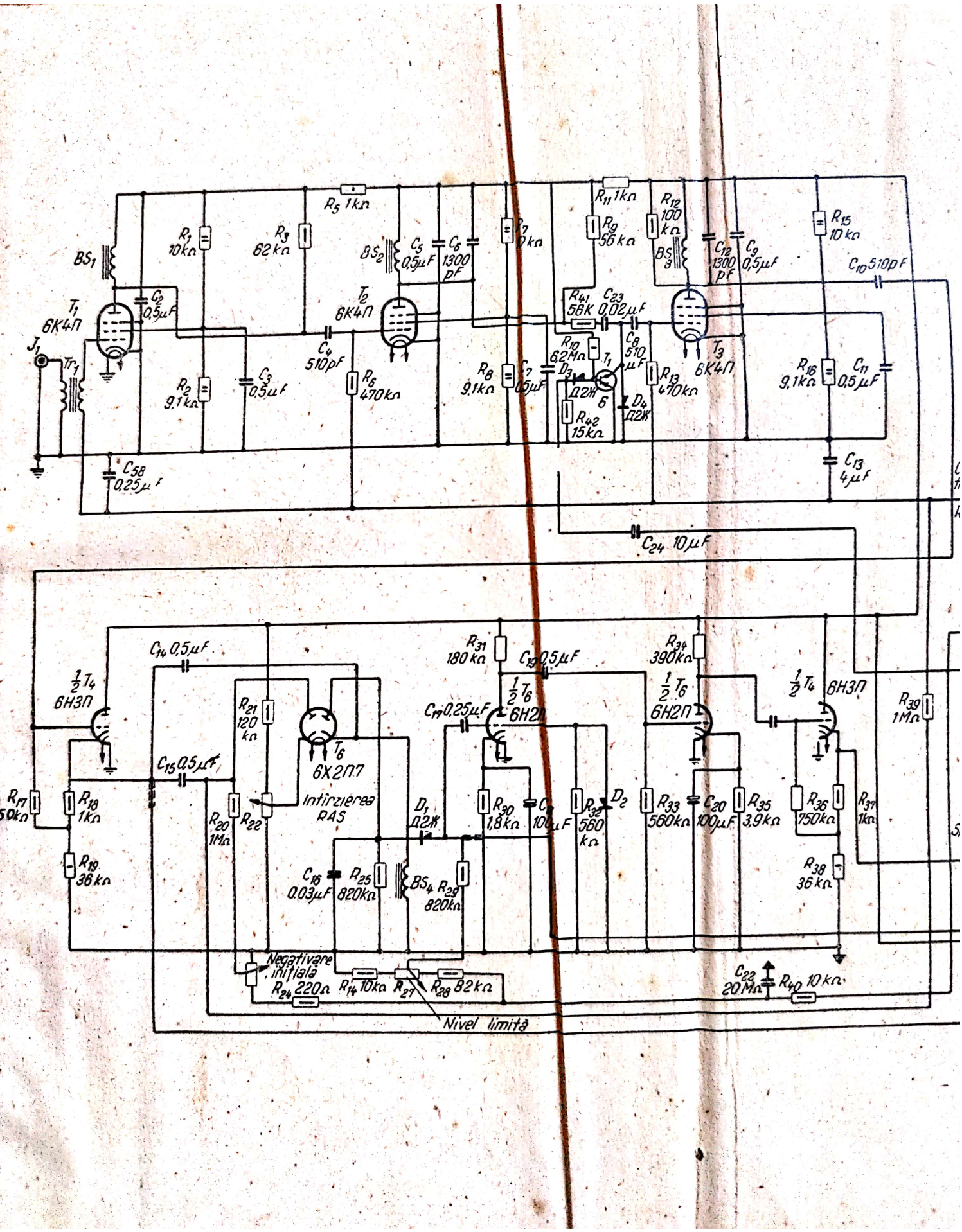
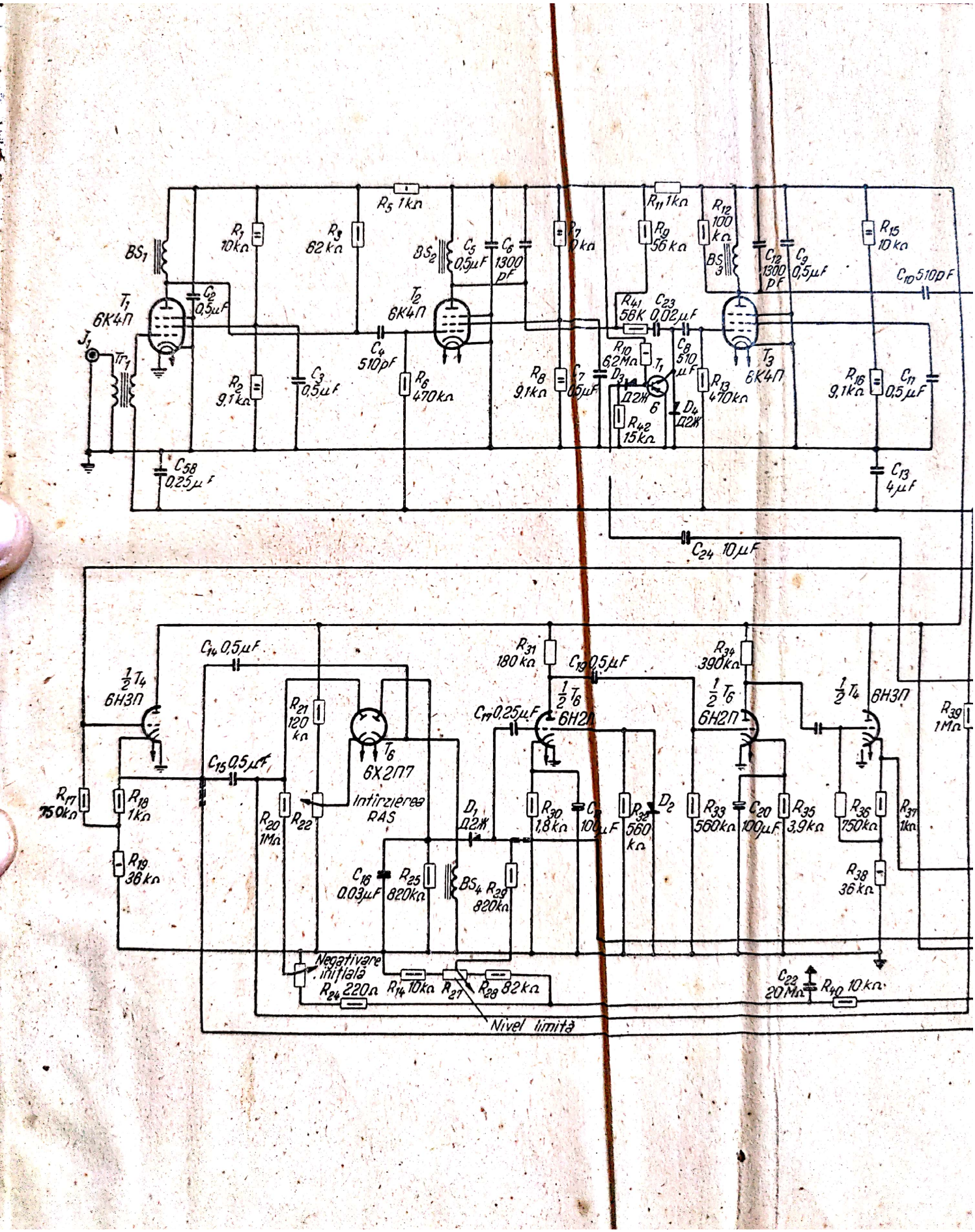


Fig. 11.11. Schema de principiu a aparatului АУ-1.

Scanned with OKEN Scanner


J1
Tr1
T1 6K4Π
T2 6K4Π
T3 6K4Π
BS1
BS2
BS3
R1 10kΩ
R2 9,1kΩ
R3 62kΩ
R5 1kΩ
R6 470kΩ
R7 9kΩ
R8 9,1kΩ
R9 56kΩ
R10 6,2MΩ
R11 1kΩ
R12 100kΩ
R13 470kΩ
R15 10kΩ
R16 9,1kΩ
R41 56K
R42 15kΩ
C1 0,5μF
C2 0,5μF
C3 0,5μF
C4 510pF
C5 0,5μF
C6 1300pF
C7 0,5μF
C8 510μF
C9 0,5μF
C10 510pF
C11 0,5μF
C12 1300pF
C13 4μF
C23 0,02μF
C58 0,25μF
C24 10μF
D3 Д2Ж
D4 Д2Ж
T1 6
½T4 6H3Π
½T5 6H2Π
½T6 6H2Π
T6 6X2Π7
½T4 6H3Π
C14 0,5μF
C15 0,5μF
C17 0,25μF
C18 0,5μF
C19 0,5μF
C20 100μF
C21 100μF
C22 20MΩ
C16 0,03μF
R17 50kΩ
R18 1kΩ
R19 36kΩ
R20 1MΩ
R21 120kΩ
R22
R24 220Ω
R25 820kΩ
R27
R28 82kΩ
R29 820kΩ
R30 1,8kΩ
R31 180kΩ
R32 560kΩ
R33 560kΩ
R34 390kΩ
R35 3,9kΩ
R36 750kΩ
R37 1kΩ
R38 36kΩ
R39 1MΩ
R40 10kΩ
D1 Д2Ж
D2
Intirzierea RAS
Negativare inițială
Nivel limită



Scanned with OKEN Scanner

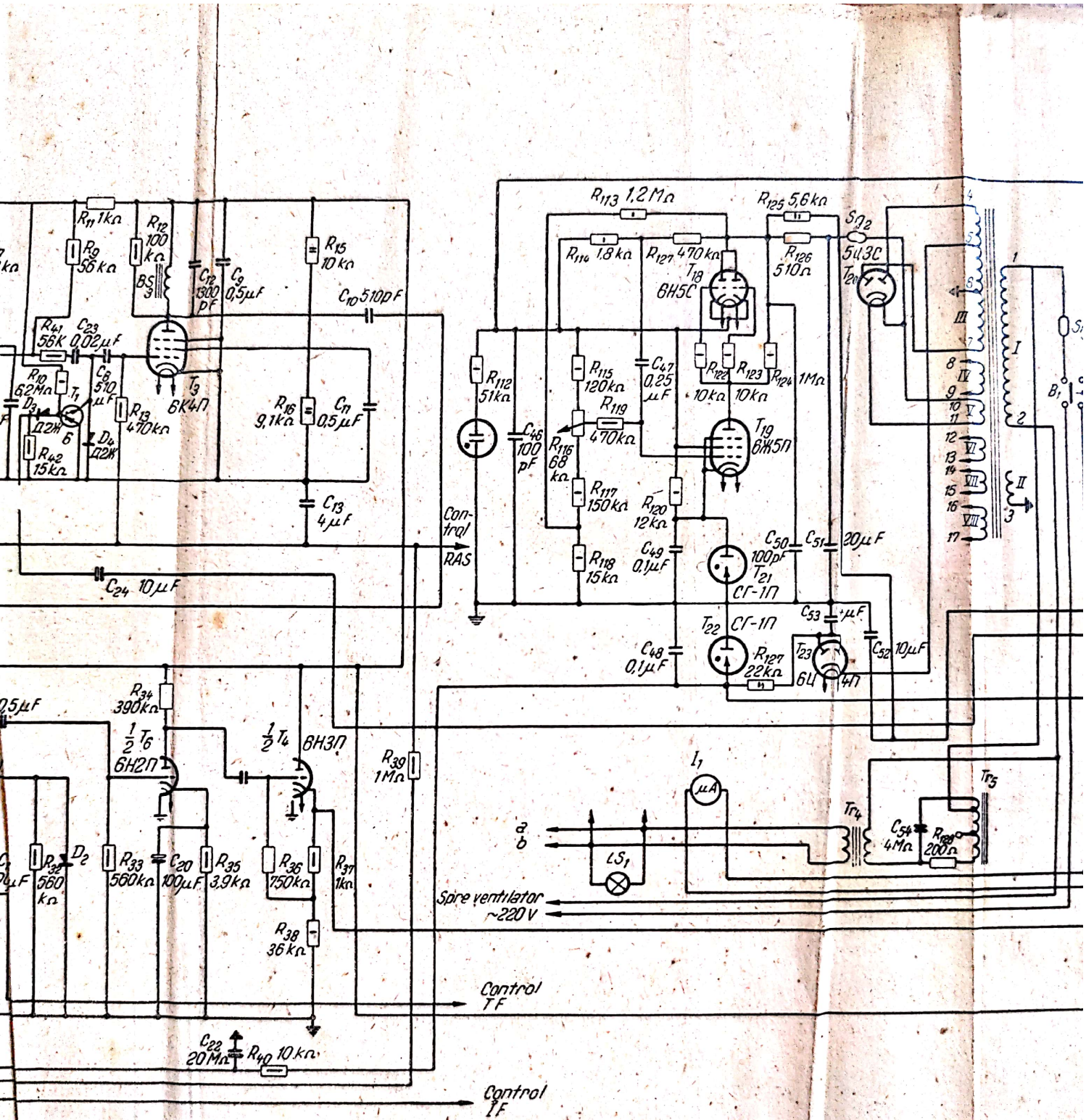
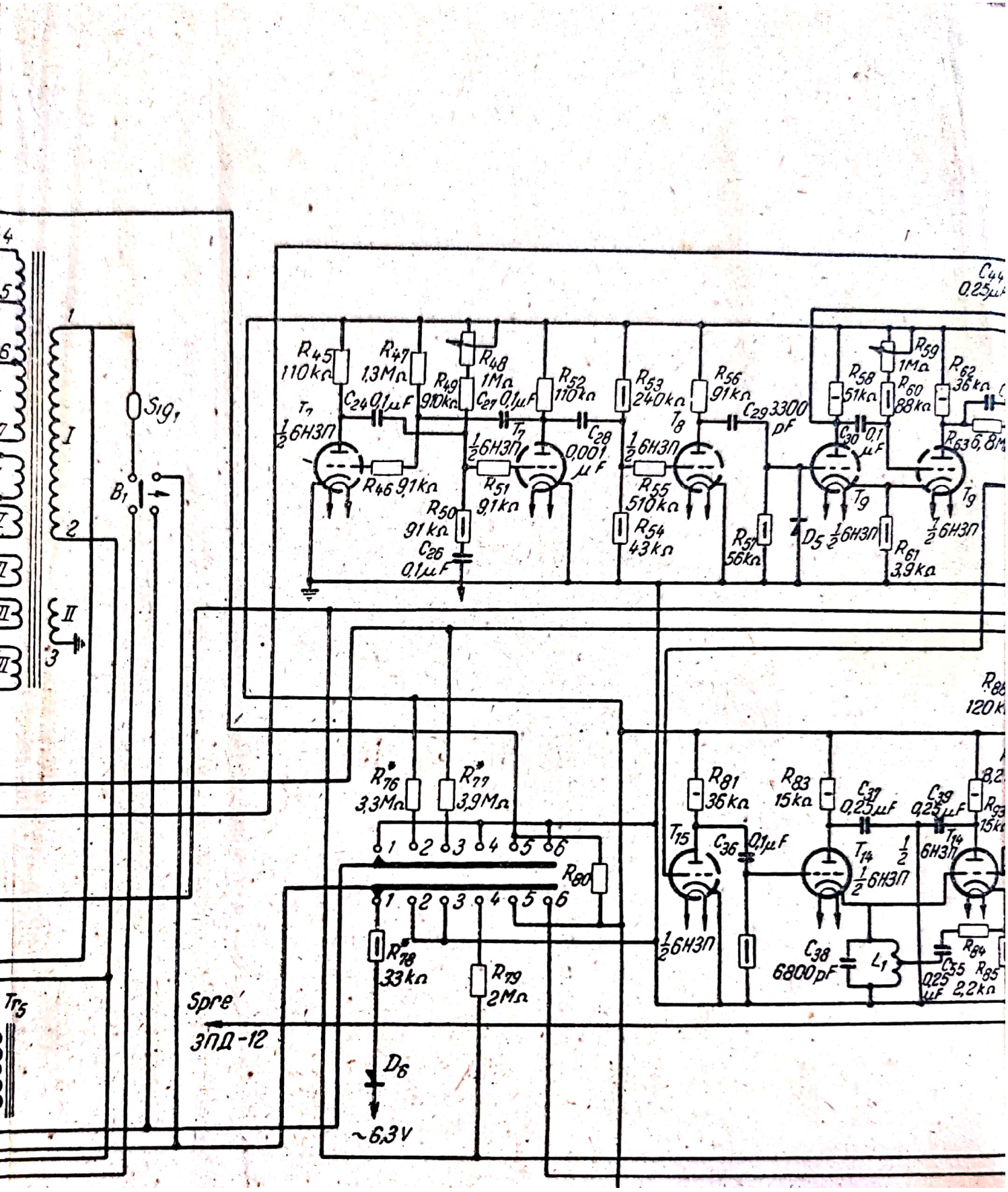
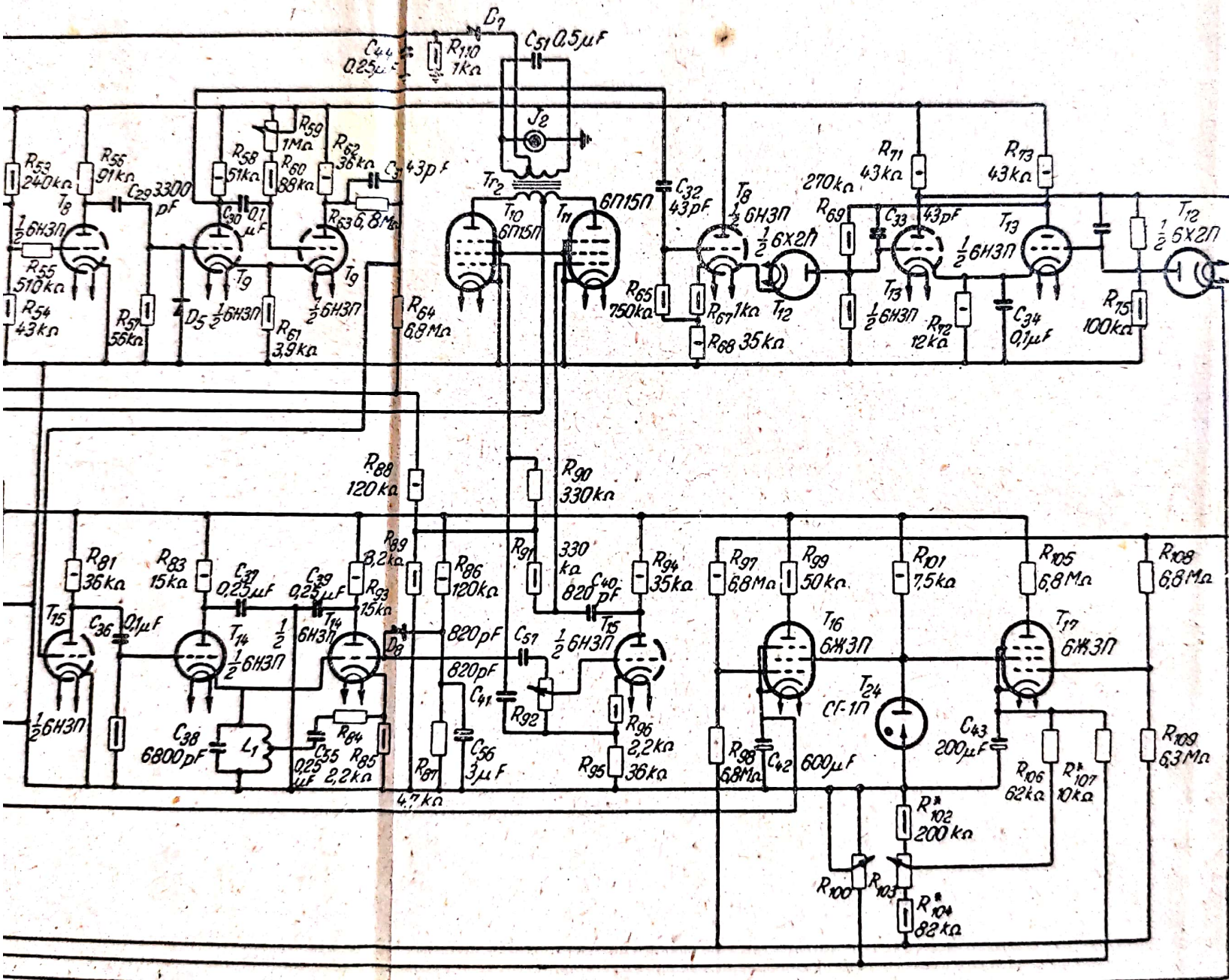


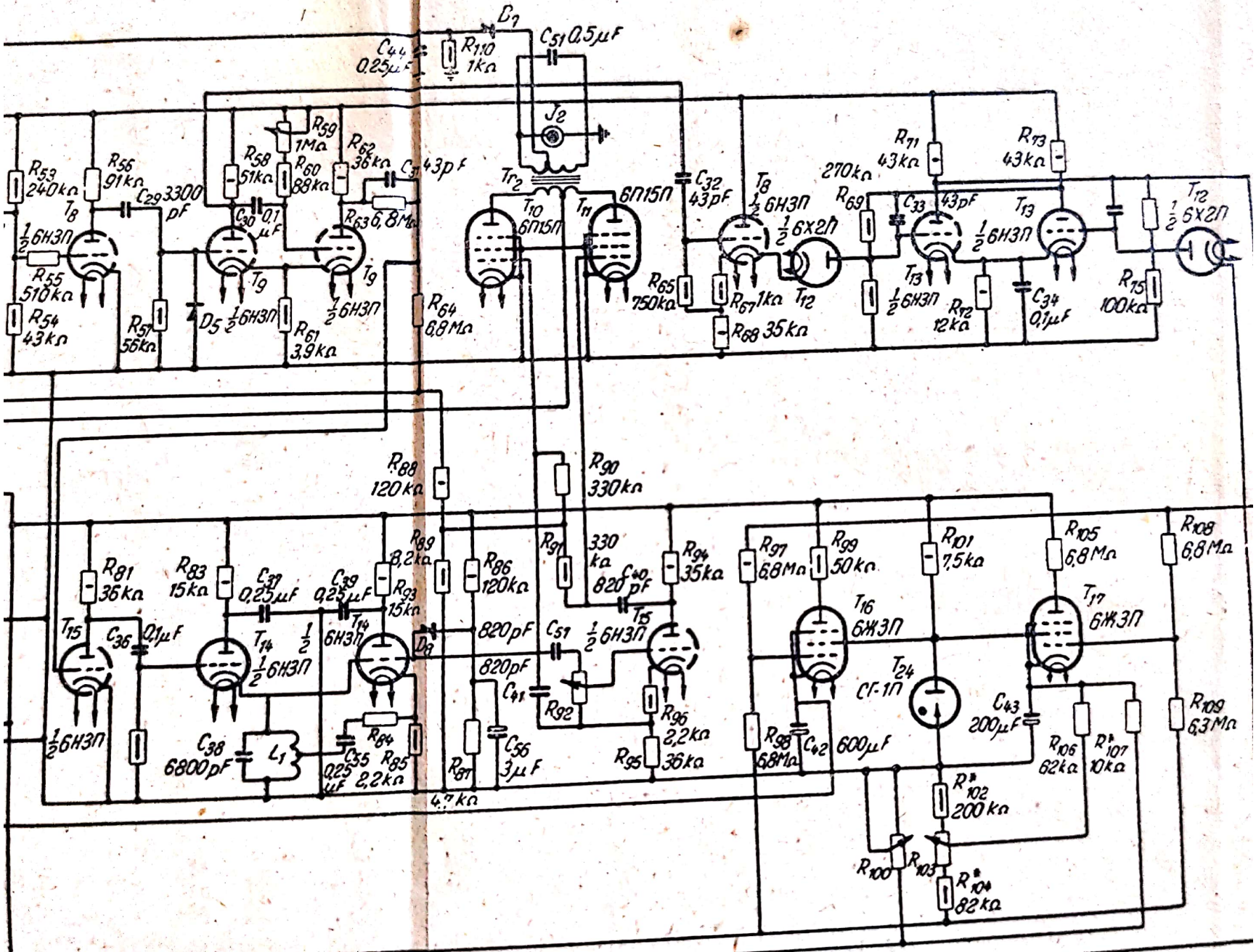
Fig. 11.11. Schema de principiu a aparatului AУ



R45 110kΩ
R47 1,3MΩ
R48 1MΩ
R49 910kΩ
R52 110kΩ
R53 240kΩ
R56 91kΩ
R58 51kΩ
R59 1MΩ
R60 88kΩ
R62 36kΩ
C24 0,1μF
C27 0,1μF
C28 0,001 μF
C29 3300 pF
C30 0,1 μF
T7 ½6Н3П
T8 ½6Н3П
T9 ½6Н3П
R46 9,1kΩ
R51 9,1kΩ
R50 91kΩ
C26 0,1μF
R55 510kΩ
R54 43kΩ
R57 56kΩ
D5 ½6Н3П
R61 3,9kΩ
R63 6,8M
R76* 3,3MΩ
R77* 3,9MΩ
R80
R78* 33kΩ
R79 2MΩ
D6
~6,3V
R81 36kΩ
R83 15kΩ
C37 0,25μF
C39 0,25μF
C36 0,1μF
T15 ½6Н3П
T14 ½6Н3П
C38 6800pF
L1
C55 0,25 μF
R84
R85 2,2kΩ
Sig1
B1
Tr5
Spre
ЗПД-12



Scanned with OKEN Scanner



D7
C44 0,25μF
R110 1kΩ
C51 0,5μF
J2
Tr2
R53 240kΩ
R56 91kΩ
C29 3300 pF
T8
½ 6Н3П
R55 510kΩ
R54 43kΩ
R57 56kΩ
D5
R58 51kΩ
R59 1MΩ
R60 88kΩ
C30 0,1 μF
T9
½ 6Н3П
R61 3,9kΩ
R62 36kΩ
C31 43pF
R63 6,8MΩ
R64 6,8MΩ
T10 6П15П
T11 6П15П
C32 43pF
R65 750kΩ
R67 1kΩ
R68 35kΩ
T8 ½ 6Н3П
½ 6Х2П
T12
270kΩ
R69
C33 43pF
R71 43kΩ
R73 43kΩ
T13 ½ 6Н3П
R72 12kΩ
C34 0,1μF
T12 ½ 6Х2П
R75 100kΩ
R88 120kΩ
R90 330kΩ
R81 36kΩ
R83 15kΩ
C37 0,25μF
C39 0,25μF
R89 8,2kΩ
R93 15kΩ
R86 120kΩ
R91 330 kΩ
C40 820 pF
R94 35kΩ
T15
C36 0,1μF
T14 ½ 6Н3П
½ 6Н3П
D8
820pF
C51
C41
R92
R96 2,2kΩ
R95 36kΩ
R97 6,8MΩ
R99 50kΩ
R101 7,5kΩ
R105 6,8MΩ
R108 6,8MΩ
T16 6Ж3П
T17 6Ж3П
T24 СГ-1П
C43 200μF
R109 6,3MΩ
C38 6800pF
L1
C55 0,25 μF
R84
R85 2,2kΩ
R87 4,7kΩ
C56 3μF
R98 6,8MΩ
C42 600μF
R106 62kΩ
R*107 10kΩ
R*102 200kΩ
R100
R103
R*104 82kΩ

Scanned with OKEN Scanner

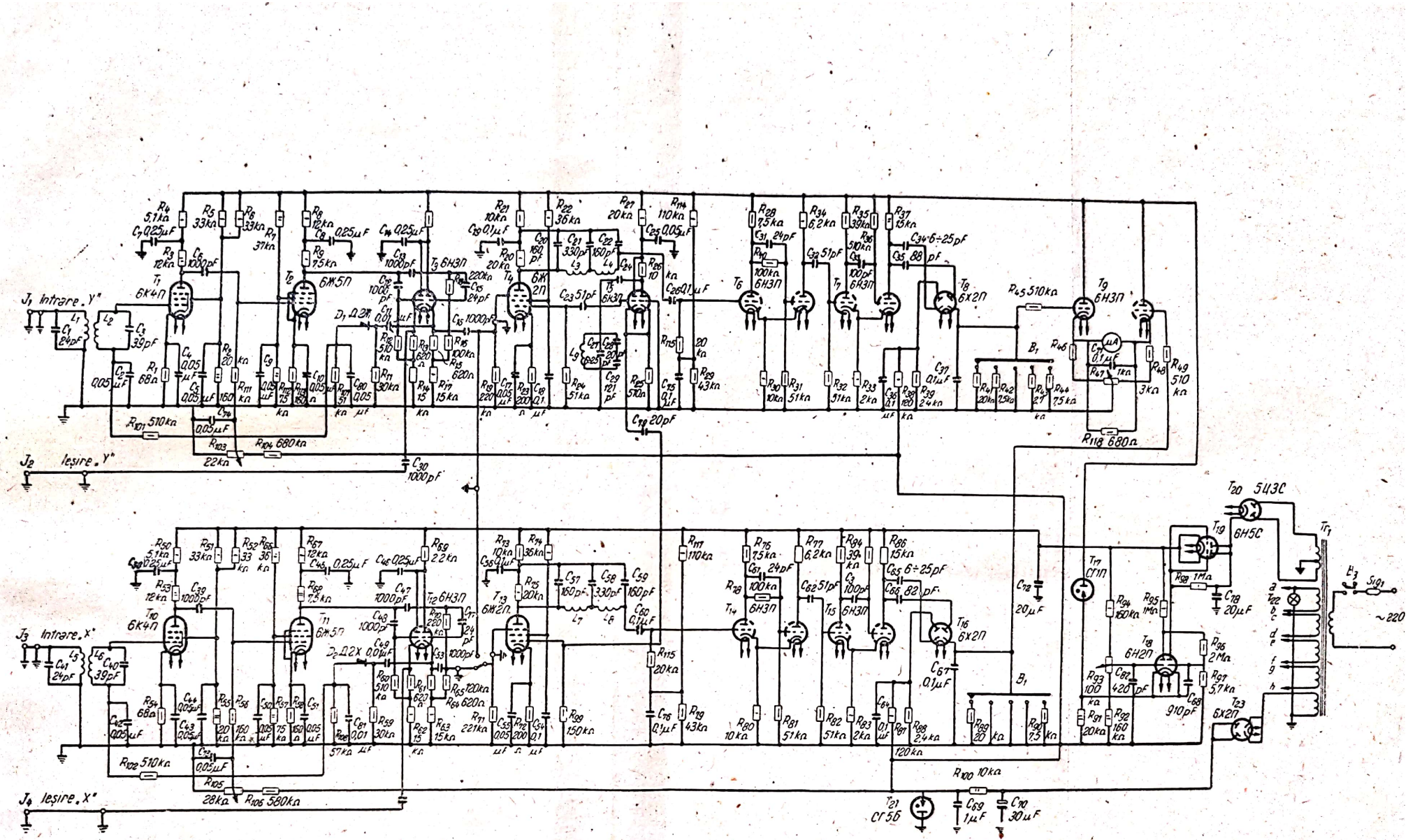


Fig. 10.11. Schema de principiu a aparatului ИС-3А.

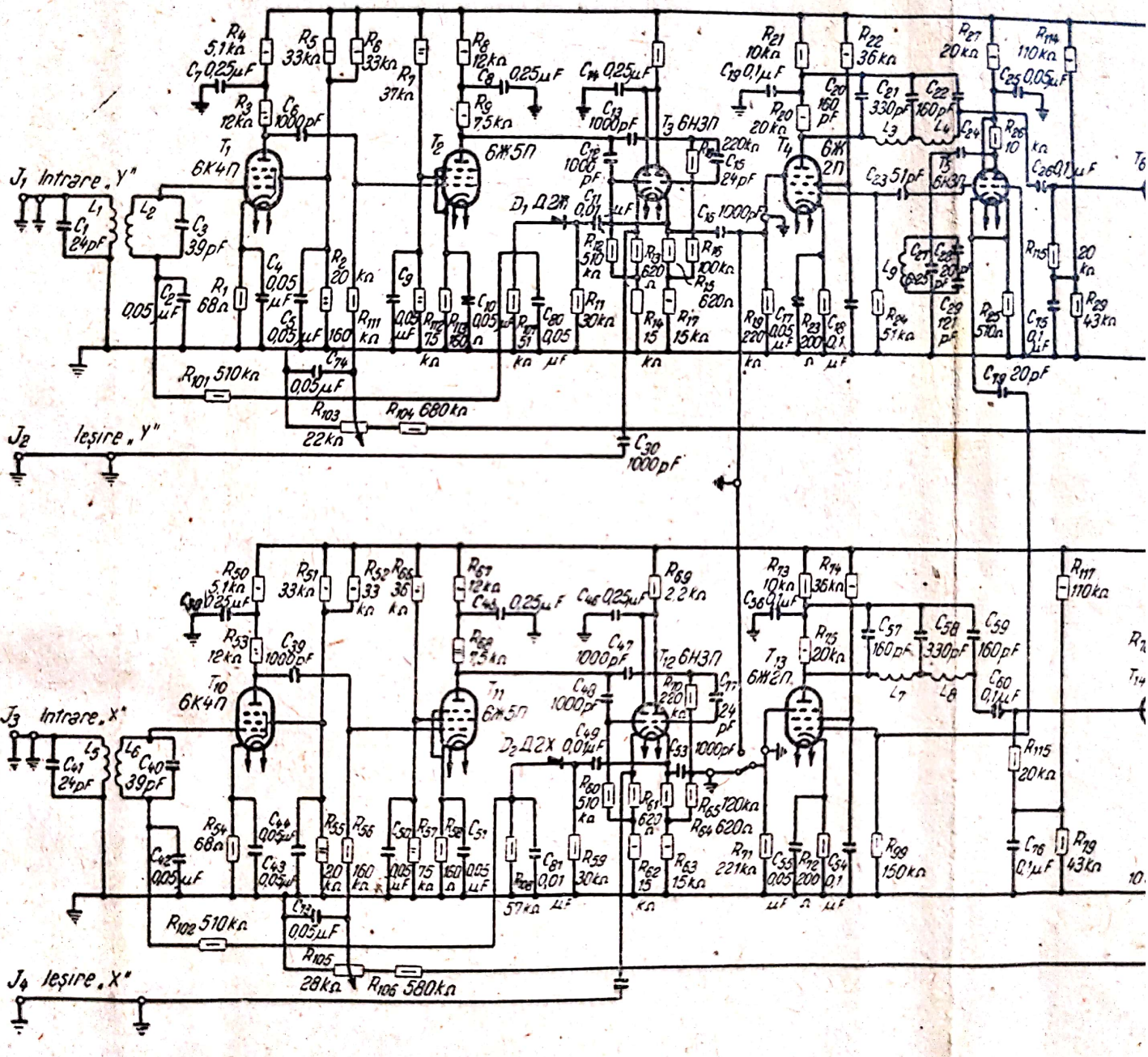
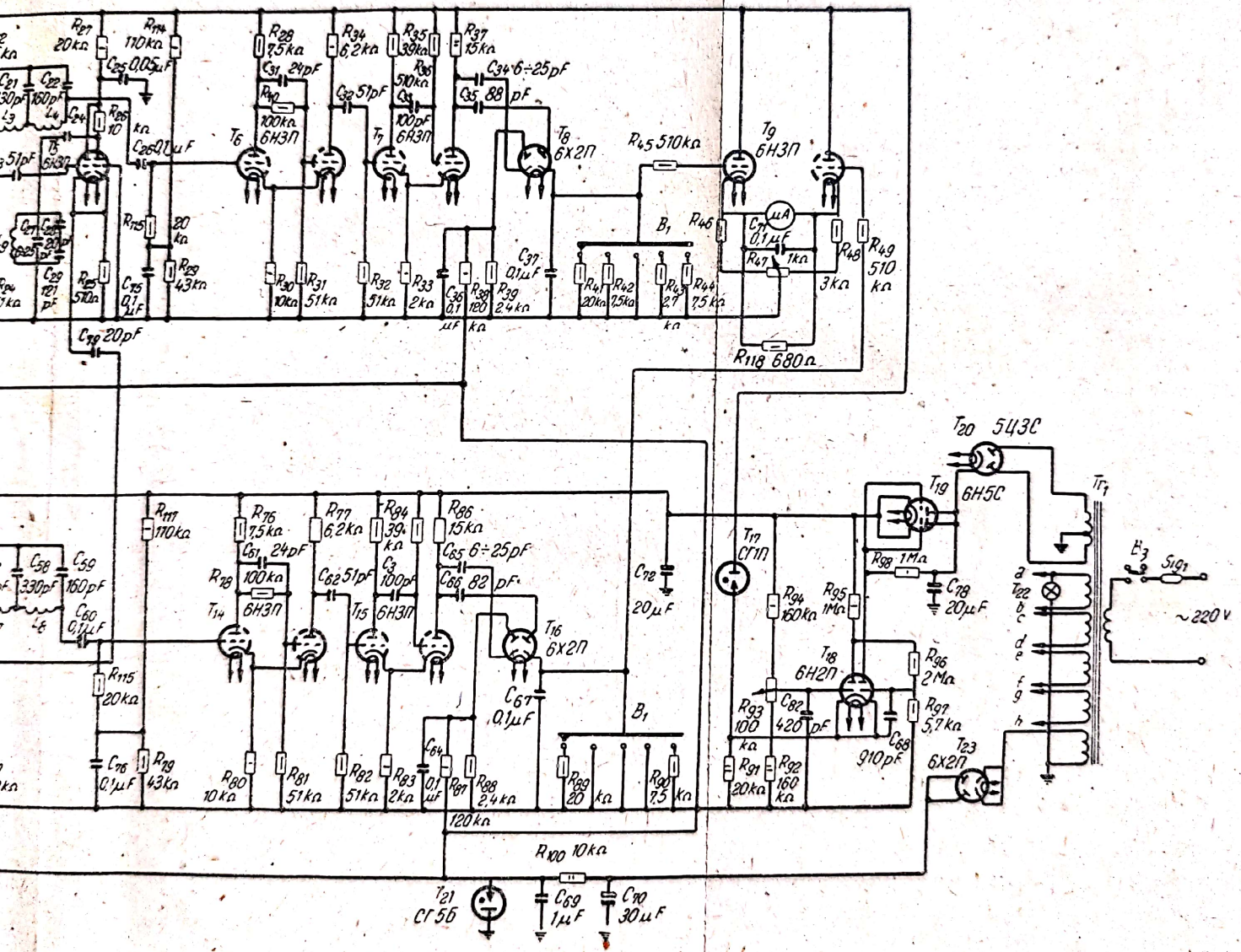


Fig. 10.11. Schema de princi



10.11. Schema de principiu a aparatului ИС-3А.

Scanned with OKEN Scanner

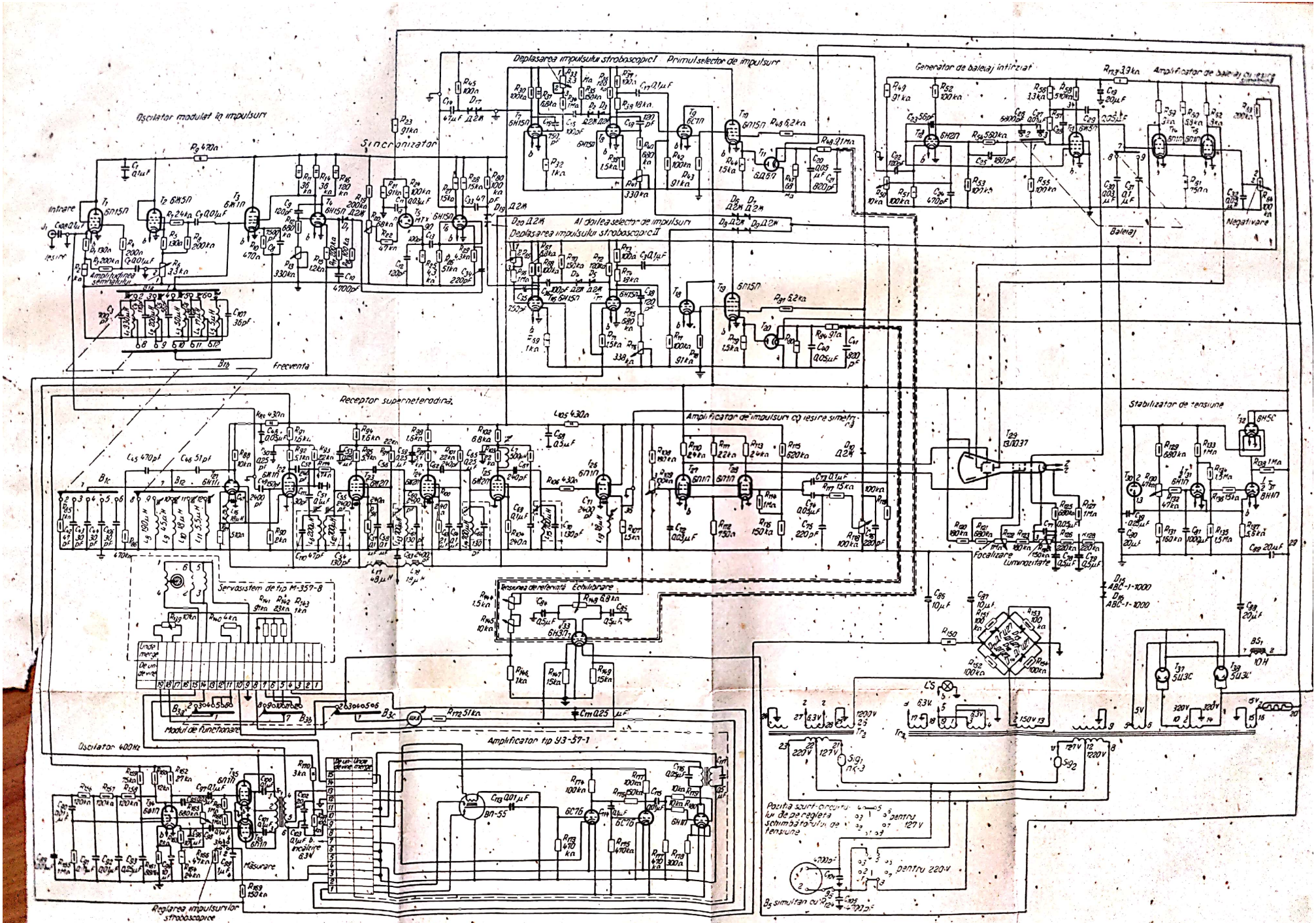
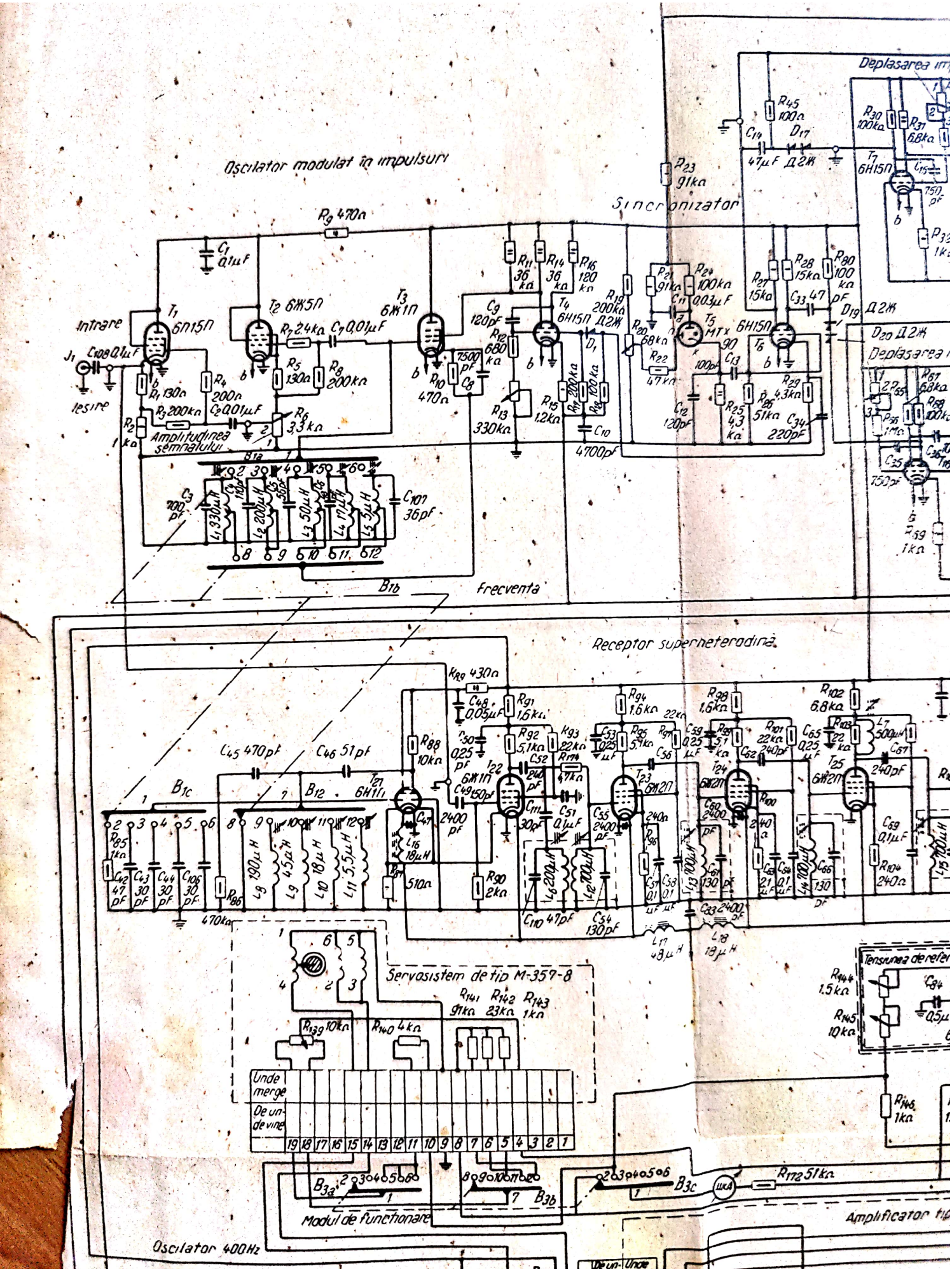
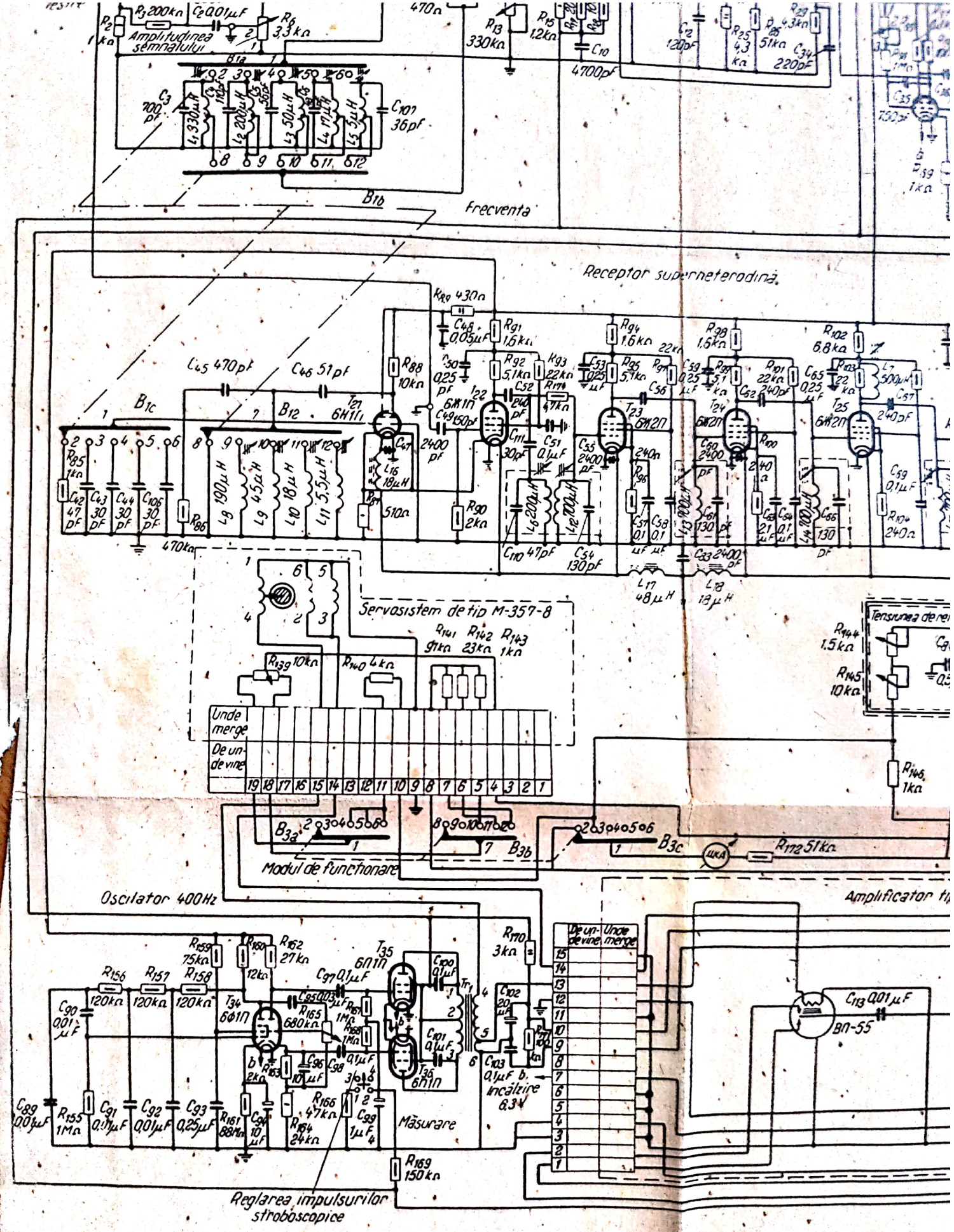
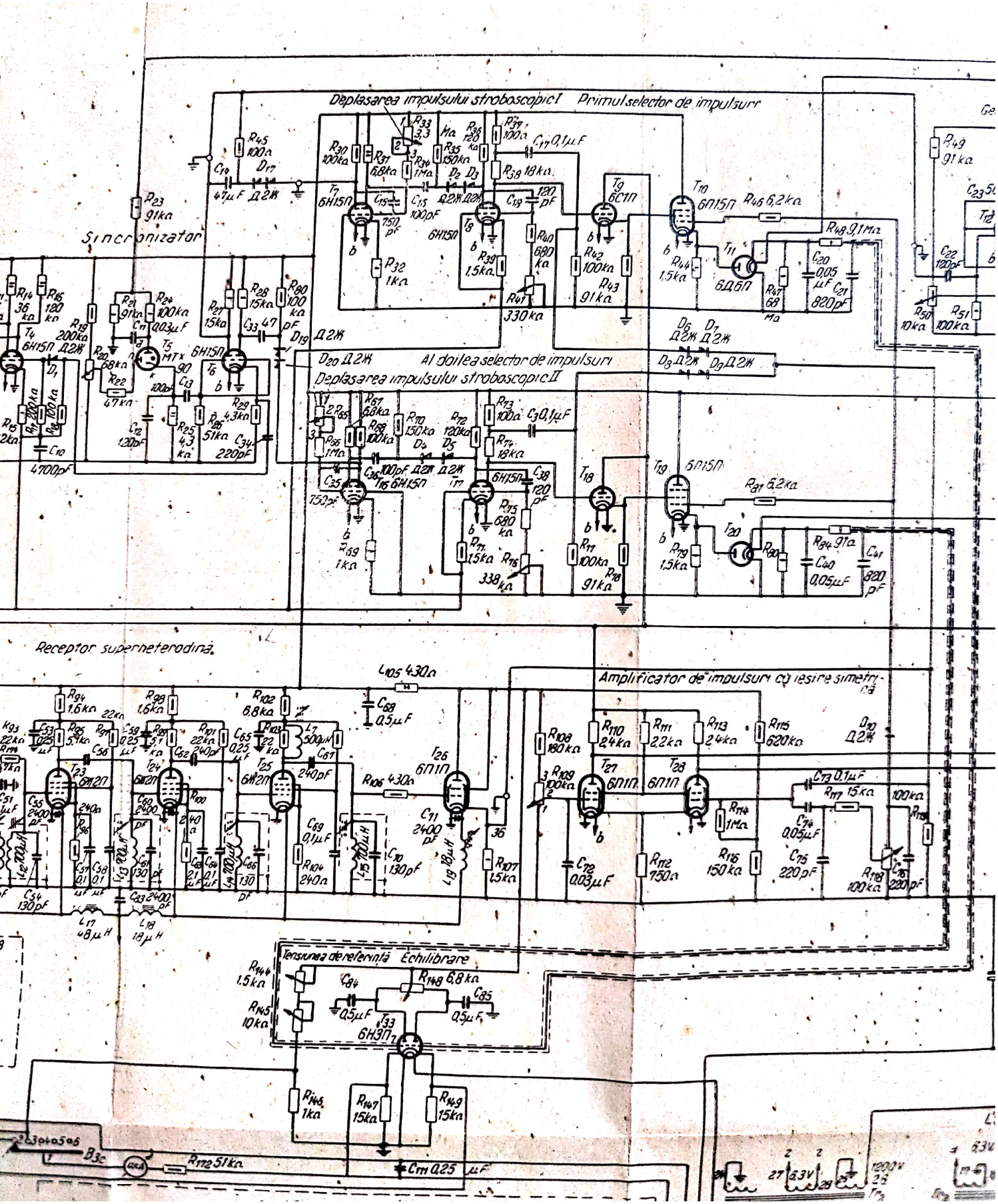


Fig. 10.14. Schema de principiu a aparatului УЗИП-1А.


Oscilator modulat în impulsuri
Sincronizator
Deplasarea im
intrare
ieșire
Amplitudinea semnalului
Frecventa
Receptor superheterodină
Servosistem de tip M-357-8
Unde merge
De unde vine
Modul de funcționare
Oscilator 400Hz
Tensiunea de refer
Amplificator fi



Scanned with OKEN Scanner



Scanned with OKEN Scanner

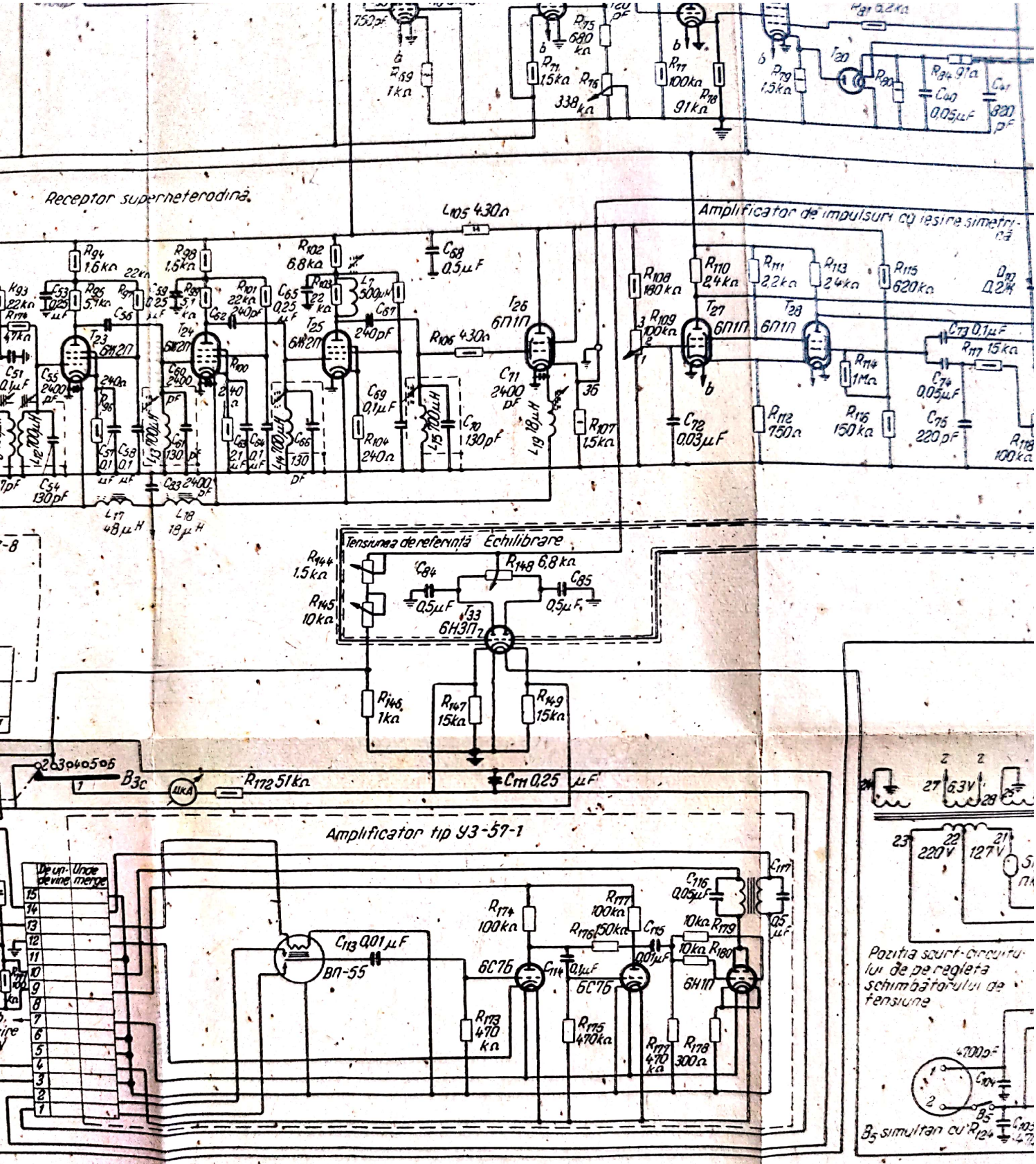
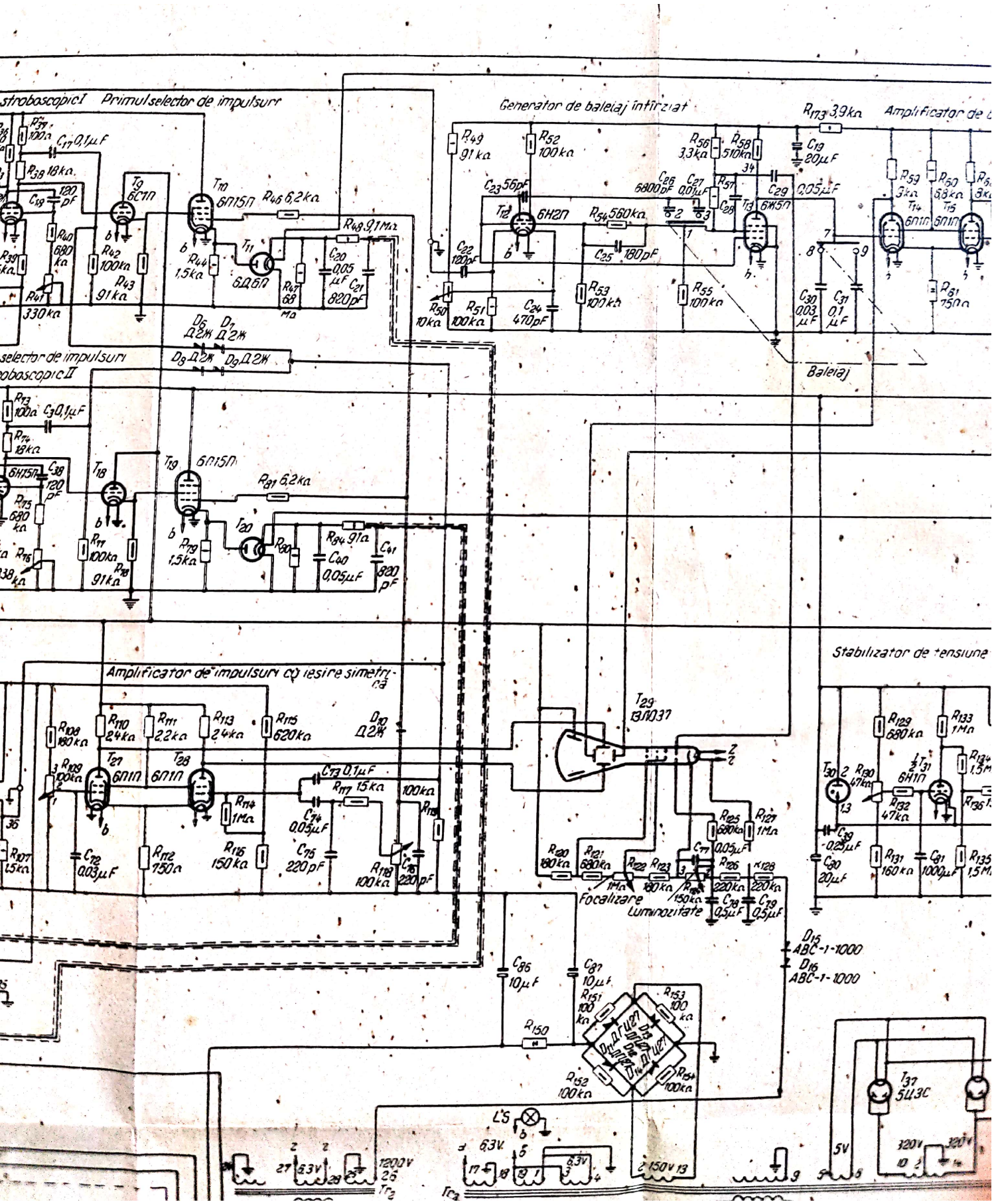


Fig. 10.14. Schema de principiu a aparatului **УЗИП-1А**.

Scanned with OKEN Scanner


stroboscopic I Primul selector de impulsuri
Generator de baleiaj intîrziat
Amplificator de
Baleiaj
selector de impulsuri
obascopic II
Amplificator de impulsuri cu ieșire simetrică
Stabilizator de tensiune
Focalizare
Luminozitate
Scanned with OKEN Scanner

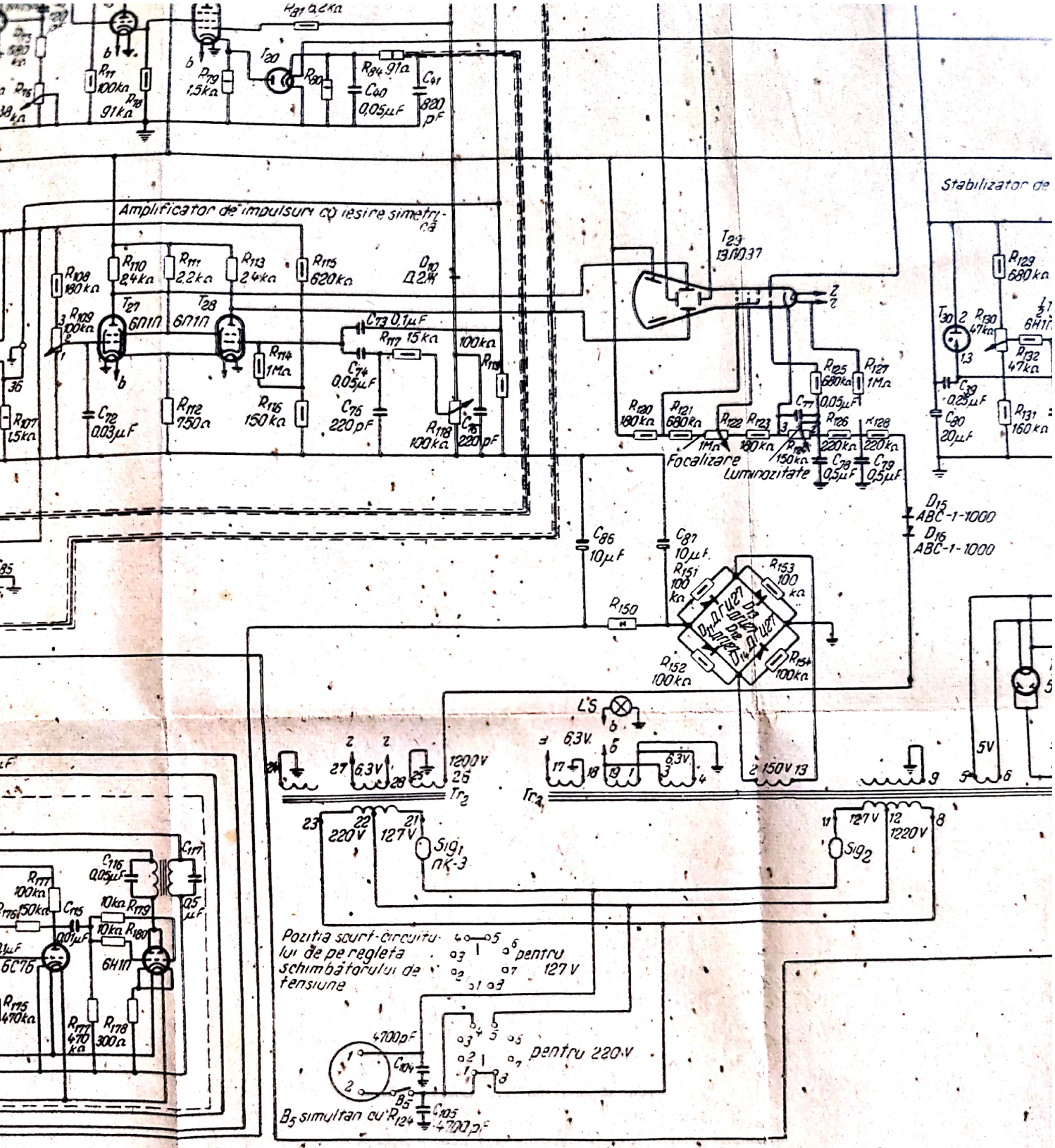
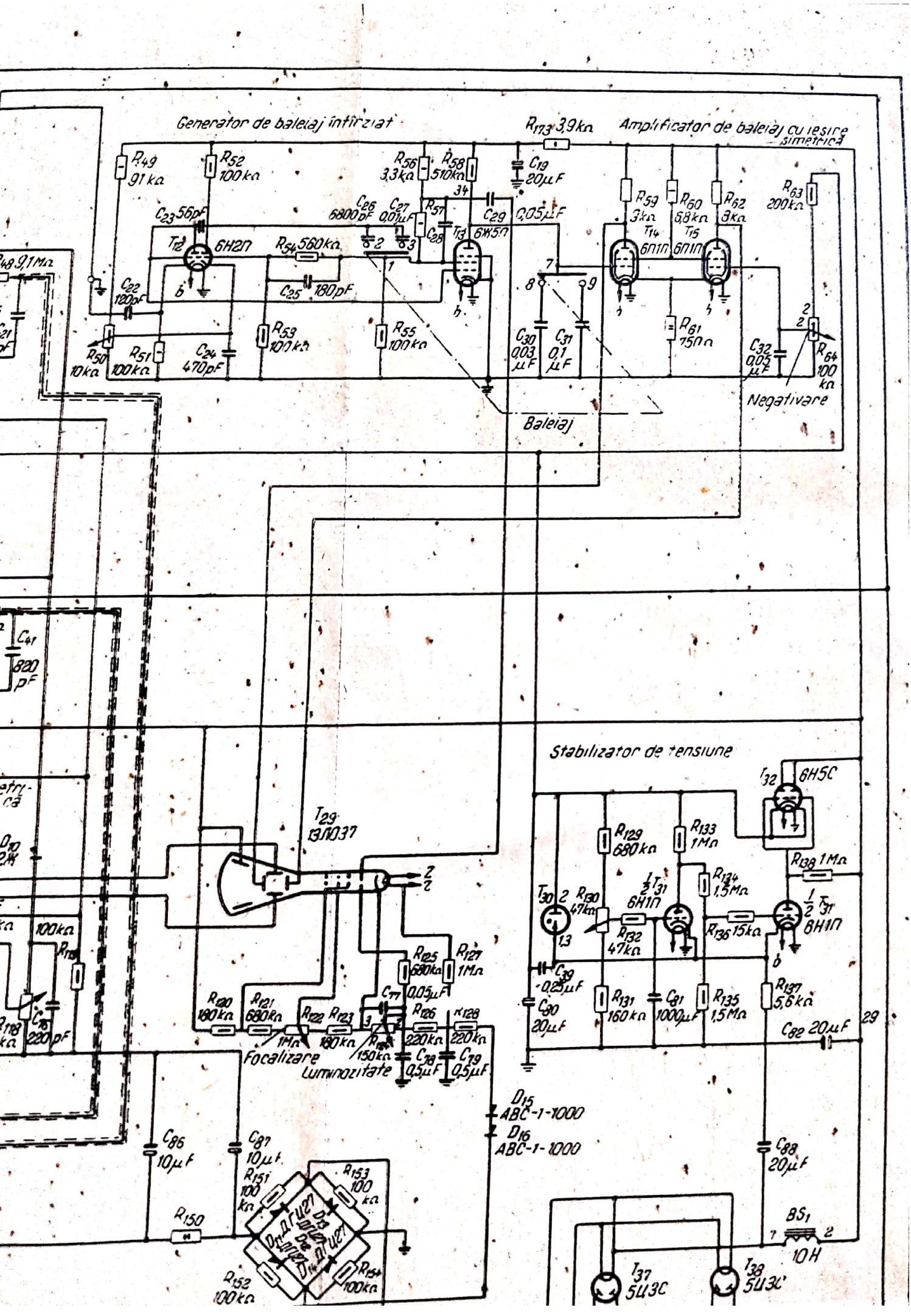
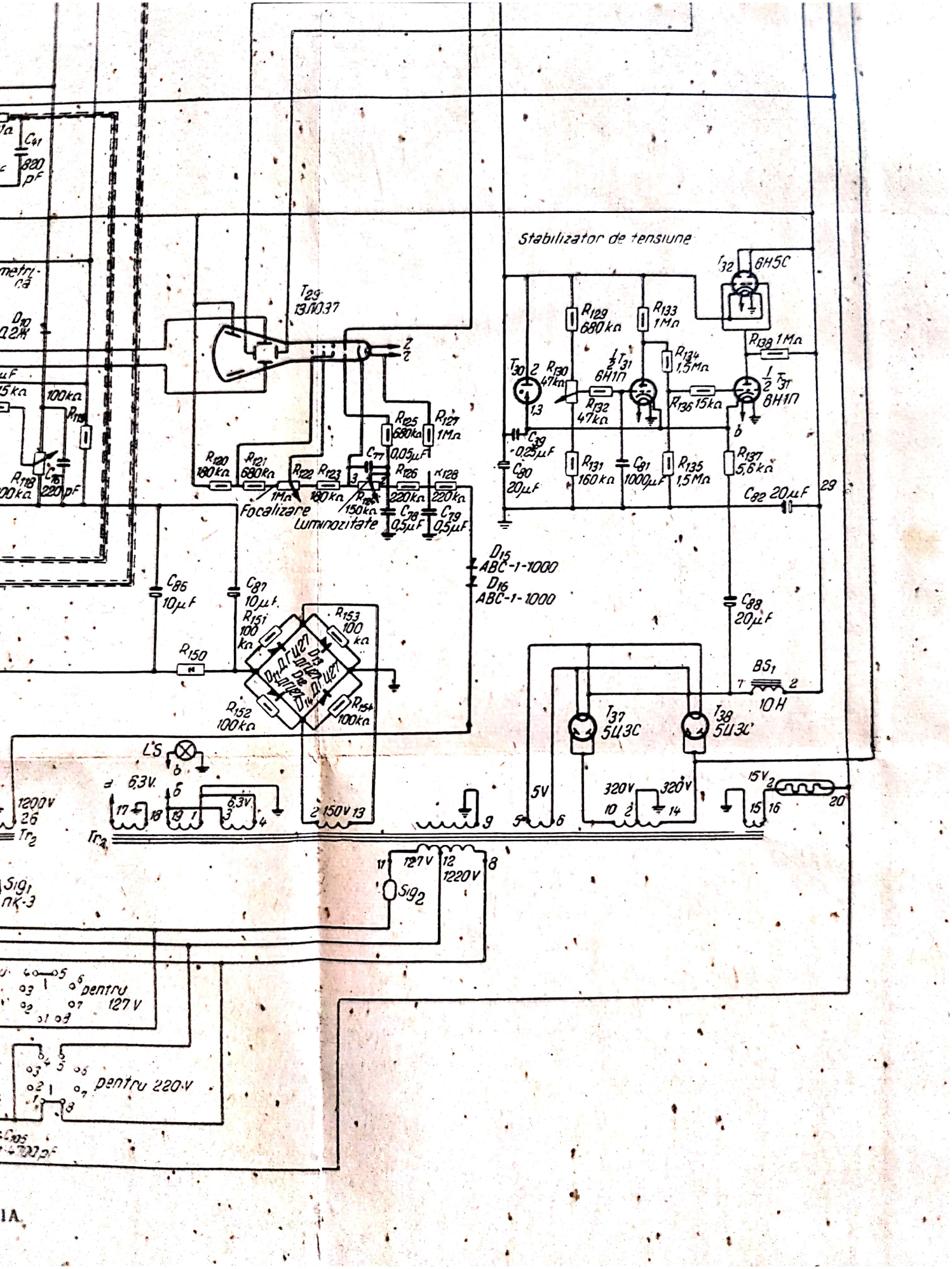


Fig. 10.14. Schema de principiu a aparatului УЗИП-1А.

Scanned with OKEN Scanner


Generator de baleiaj intîrziat
Amplificator de baleiaj cu ieșire simetrică
Baleiaj
Negativare
Stabilizator de tensiune
Focalizare
Luminozitate
6Н2П
6Ж5П
6П1П
6Н5С
6Н1П
13Л037
5Ц3С
ABC-1-1000
ABC-1-1000
10Н



Scanned with OKEN Scanner